



UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO NORTE
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECÂNICA

TESE DE DOUTORADO

**APROVEITAMENTO DO EXOCARPO DO LICURI PARTICULADO
PARA PRODUÇÃO DE UM COMPÓSITO UTILIZANDO COMO
MATRIZ UM POLIÉSTER ORTOFTÁLICO**

RÚI CARLOS DE SOUSA MOTA
ORIENTADOR: PROF. DR. JOSÉ UBIRAGI DE LIMA MENDES

NATAL – RN
2017

RÚI CARLOS DE SOUSA MOTA

**APROVEITAMENTO DO EXOCARPO DO LICURI PARTICULADO
PARA PRODUÇÃO DE UM COMPÓSITO UTILIZANDO COMO
MATRIZ UM POLIÉSTER ORTOFTÁLICO**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, da Universidade Federal do Rio Grande do Norte, como requisito para a obtenção do título de Doutor em Engenharia Mecânica.

Orientador: Prof. Dr. José Ubiragi de Lima Mendes

NATAL – RN
2017

Universidade Federal do Rio Grande do Norte – UFRN
Sistema de Bibliotecas – SISBI
Catalogação de Publicação na Fonte. UFRN - Biblioteca Central Zila Mamede

Mota, Rui Carlos de Sousa.

Aproveitamento do exocarpo do licuri particulado para produção de um compósito utilizando como matriz um poliéster ortoftálico / Rui Carlos de Sousa Mota. - 2018.

133 f.: il.

Tese (doutorado) - Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Centro de Tecnologia, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica. Natal, RN, 2018.

Orientador: Prof. Dr. José Ubiragi de Lima Mendes.

1. Materiais compósitos - Tese. 2. Licuri - Tese. 3. Sustentabilidade - Tese. I. Mendes, José Ubiragi de Lima. II. Título.

RN/UF/BCZM

CDU 620.1

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO NORTE
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECÂNICA

**APROVEITAMENTO DO EXOCARPO DO LICURI PARTICULADO
PARA PRODUÇÃO DE UM COMPÓSITO UTILIZANDO COMO
MATRIZ UM POLIÉSTER ORTOFTÁLICO**

RÚI CARLOS DE SOUSA MOTA

ESTA TESE FOI JULGADA ADEQUADA PARA A OBTENÇÃO DO TÍTULO DE
DOUTOR EM ENGENHARIA MECÂNICA
SENDO APROVADA EM SUA FORMA FINAL

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. José Ubiragi de Lima Mendes - UFRN

Dr. Natanayefle Randemberg Gomes dos Santos - UFRN

Dra. Fernanda Alves Ribeiro – UFRN

Dra. Iris Oliveira da Silva - UFRN

Dra. Aline Cristina Mendes - UFRN

Dr. Raimundo Jorge dos Santos Paranhos - IFBA

Dedico este trabalho aos meus pais Silvéria Mota e Carlos Mota (*in memoriam*), a minha esposa Selma Mota, a minha filha Amaralina Mota e aos meus netos Enzo Mota (Zuquinha) e Théo Mota.

AGRADECIMENTOS

Ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica da Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN).

A todos os amigos do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Bahia (IFBA), *Campus* Salvador, principalmente aos colegas Professores: Palma, Carlos, Ednaldo e Jailton Weber Gomes que incentivaram e me deram grande apoio para que eu pudesse concluir este trabalho.

À minha família, que contribuiu de forma incisiva nos momentos mais difíceis.

Ao meu orientador Prof. Dr. José Ubiragi de Lima Mendes que de forma incondicional apoiou esta tese.

Ao IFBA, *Campus* de Simões Filho, que disponibilizou toda sua estrutura de laboratórios para que fossem realizados os ensaios necessários para concretizar este trabalho.

À bibliotecária/documentalista e amiga Jovenice Ferreira Santos que de forma paciente e positiva revisou e normalizou esta tese.

A Daniel Brandão Júnior e Josimar Torres que muito ajudaram na travessia deste doutorado.

A Carina e ao professor Rodrigo Estevão (IFBA, Salvador), que, de forma gentil e profissional, conduziram alguns ensaios.

Aos meus alunos do IFBA, Simões Filho e do IFBA, Salvador (Lorena e Lucas) que, de forma voluntária, muito contribuíram e incentivaram, fazendo com que este trabalho acontecesse.

Aos membros da Banca examinadora.

A todos que ajudaram de uma forma ou de outra um muito obrigado.

Bravo! A quem salva o futuro
Fecundando a multidão....
Num poema amortilhado
Nunca morre uma nação
Como Goethe moribundo
Brada 'luz' o novo mundo
Num brado de Briaréu...
Luz! pois, no vale e na serra...
Que, se a luz rola na terra,
Deus colhe gênios no céu!..
(Castro Alves)

RESUMO

Visando a melhoria e otimização dos processos produtivos, pesquisadores dos mais diversos segmentos buscam apresentar soluções que reduzam custos operacionais e a utilização de matéria-prima empregada na fabricação de bens em geral. O uso de resíduo, de origem vegetal e industrial, atende ao apelo da sustentabilidade e agrega renda aos agricultores familiares e de baixa renda. Este trabalho estuda o aproveitamento do exocarpo da fruta do licurizeiro (*Syagro Coronata*), palmeira nativa do semiárido baiano e chamada também de nicuri, licuri, Ouricuri etc. e tem como objetivo contribuir para a ampliação da cadeia produtiva, agregando renda ao pequeno produtor e ao agricultor familiar. Para tanto, buscou-se caracterizar e analisar as propriedades mecânicas e térmicas do referido resíduo, que após a cominuição pelo processo de impacto (pilão manual) e moagem em um moinho de facas com telas de 1,0 mm e de passar pelo processo de peneiramento para separar as partículas com tamanhos entre 0,0085 e 0,0074 mm e foi caracterizado por MEV, DRX; TG e densidade volumétrica para melhor conhecer suas propriedades. Este particulado foi utilizado como carga em um compósito polimérico tendo como matriz a resina poliéster ortoftálica pré acelerada em quatro proporções em massa, 10; 20; 30 e 40 % que foram comparadas com a resina pura e que depois foi caracterizados MEV, por DRX, TG, Condutividade térmica, densidade volumétrica, impacto, absorção de água, tração e flexão em três pontos, para tanto foram fabricadas placas com as dimensão de 400 x 300 x 8 mm e cortado os corpos de provas de acordo com as normas vigentes, a mistura foi homogeneizada com a utilização de uma batedeira doméstica por dez minutos a uma rotação de 720 rpm e depois despejada na forma de granito e deixado curar por oito horas e uma pós cura de mais oito horas, depois foi cortado os corpos de prova nas dimensões normatizadas e lixadas e polidas para que não houvesse a menor interferência possível nos resultados. Ficou demonstrado que a formulação com adição de 20% de resíduo apresentou no geral uma melhor performance para utilização estrutural em aplicações que não exijam solicitações mecânicas, assim como um melhor acabamento para utilização em *ecodesign* e peças acadêmicas.

Palavras-chave: Licuri. Resíduo de origem vegetal. Compósito polimérico *Ecodesign*. Sustentabilidade.

ABSTRACT

Researchers from different scientific fields are focused on improving and optimizing production processes by pursuing solutions to help reducing operational costs and the amount of raw materials used to manufacture general goods. The use of plant and industrial wastes complies with sustainability goals and helps providing additional income to family farmers. The palm tree species *Syagro Coronata*, which is also known as nicuri, licuri, Ouricuri, among others, is native to Bahia State semi-arid region. The aim of the current research is to study the fruit exocarp of the aforementioned species in order to help expanding the productive chain, as well as to allow creating an additional source of income to small producers and family farmers. Accordingly, the present study featured and analyzed the mechanical and thermal properties of the aforementioned waste. The fruit exocarp was subjected to comminution through impact (manual pestle) and milling (in a knife mill with 1.0 mm mesh) processes. Next, it was sieved to separate particles between 0.0085 and 0.0074 mm; it was also characterized through SEM, XRD, TG and volumetric density to allow better understanding its properties. The particulate was used as filler in a polymeric composite, whose matrix comprised an orthophthalic polyester resin pre-accelerated in four mass proportions (10, 20, 30 and 40%). Such proportions were compared to the pure resin and, then, characterized through SEM, XRD, TG, thermal conductivity, volumetric density, impact, water absorption, tensile and three-point bending tests. In order to do so, 400 x 300 x 8 mm plates were manufactured, and specimens were cut according to current standards. The mixture was homogenized in a domestic shaker for ten minutes at 720 rpm. Then, it was poured into a granite mold and left to cure for eight hours, which was followed by the post-cure for additional eight hours. The specimens were cut in standardized dimensions at the end of the post-cure period; they were also sanded and polished to avoid the slightest interference in the results, which were quite satisfactory and met the research expectations. The uniaxial tensile strength test showed reduction due to waste addition; such result was not recorded in the total elongation test. The results of the three-point bending test were lower than the ones recorded for the pure resin in all formulations. According to the thermogravimetric analysis, there was water loss at 150°C and its exothermic peak varied from 400°C to 409°C; such finding allowed attributing good thermal resistance to the material. The potential of hydrogen (pH) lied on the neutral range and presented good resistance to waterlogging. Overall, the performance of each formulation enabled using them in structural applications that do not require large. In addition, these formulations can be used in decorative pieces and adopted in practical classes focused on mechanical manufacturing processes.

Keywords: Licuri. Plant waste. Ecodesign polymer composite. Sustainability.

LISTA DE QUADROS

Quadro 01 -	Classificação dos compósitos segundo a natureza dos constituintes	36
Quadro 02 -	Classificação dos materiais compósitos segundo a natureza dos constituintes	40
Quadro 03 -	Classificação dos materiais compósitos quanto à natureza da matriz	41
Quadro 04 -	Classificação dos compósitos quanto à forma, tamanho e distribuição das fibras	42
Quadro 05 -	Tipos de resina poliéster	43

LISTA DE FIGURAS

Figura 01 -	Estrutura da fibra vegetal (algodão)	24
Figura 02 -	Árvore de Licuri (<i>Syagrus coronata</i>)	28
Figura 03 -	Licuri (a) inteiro e (b) descascado	28
Figura 04 -	Fibras de Licuri (<i>Syagrus coronata</i>)	29
Figura 05 -	Fibras do bagaço de coco seco	30
Figura 06 -	Tecido de fibra de juta	30
Figura 07 -	Fibras de Curauá prontas para impregnação em plástico reforçado	31
Figura 08 -	Fibras de Sisal	32
Figura 09 -	Fibras de rami	33
Figura 10 -	Esquema geral de uma bananeira com suas diversas partes constituintes	34
Figura 11 -	Bananeira e suas fibras	34
Figura 12 -	Tipos de matrizes utilizados em compósitos	37
Figura 13 -	Propriedades avaliadas para verificação do desempenho de um compósito	38
Figura 14 -	Mero da resina poliéster ortoftálica	43
Figura 15 -	Laminação Manual	47
Figura 16 -	Transferência de calor unidimensional em paredes planas	60
Figura 17 -	Principais tipos de curvas termogravimétricas	67
Figura 18 -	Comparação entre as curvas TG e DTG	68
Figura 19 -	Desenho esquemático da coluna do MEV	69
Figura 20 -	Mecanismos de falhas em compósitos: (1) “pull-out”; (2) deslizamento da fibra; (3) descolamento; (4) falha da fibra e (5) falha da matriz	69
Figura 21 -	Quebra da fibra de vidro observada em microscópio óptico	70
Figura 22 -	Fratura adesiva fibra matriz observada em microscópio óptico	70
Figura 23 -	Fissura na matriz polimérica observada em microscópio óptico	71
Figura 24 -	Fluxograma de Preparação do compósito	72
Figura 25 -	Licurizeiro com cacho de frutos	73
Figura 26 -	Exocarpo de licuri seco (a) e úmido (b)	73
Figura 27 -	Exocarpo do licuri moído (EMLI)	74
Figura 28 -	Cera desmoldante	75
Figura 29 -	Molde de Granito	76
Figura 30 -	Exocarpo do licuri	76

Figura 31 -	Pilão adaptado (a) e moinho de facas (b)	77
Figura 32 -	Caracterização do EMLI	77
Figura 33 -	Medidor universal de pH	78
Figura 34 -	CPL para análise de MEV	79
Figura 35 -	Equipamento de MEV	79
Figura 36 -	Peneirador eletromecânico	80
Figura 37 -	Peneiramento manual	80
Figura 38 -	Difratômetro	81
Figura 39 -	Prensa hidráulica	82
Figura 40 -	Pastilhas para ensaio FRX	82
Figura 41 -	Equipamento de FRX	82
Figura 42 -	Balança analítica de precisão	83
Figura 43 -	Misturador doméstico	84
Figura 44 -	Placas	85
Figura 45 -	Serra fita vertical	86
Figura 46 -	Corpos de prova de ensaio de resistência a tração	86
Figura 47 -	Máquina de polimento	86
Figura 48 -	Caracterização dos compósitos	87
Figura 49 -	Máquina de ensaio universal: tração (a) e flexão (b)	88
Figura 50 -	Máquina de impacto Gardner	89
Figura 51 -	CPLs para ensaio de impacto	90
Figura 52 -	Aparelho de TG	90
Figura 53 -	Condutivímetro KD2 Pro	92
Figura 54 -	Corpos de prova para análise de condutividade térmica	93
Figura 55 -	Corpos de prova em vasilhames	94
Figura 56 -	Medidor de Densidade	95
Figura 57 -	Micrografias do EMLI	96
Figura 58 -	Micrografia do EMLI	97
Figura 59 -	MEV do arrancamento do resíduo	98
Figura 60 -	MEV do compósito (a-h)	98
Figura 61 -	Micrografia com as dimensões da partícula	103
Figura 62 -	Medidor Pré-usinagem	118

Figura 63 -	Desenhos de peças produzidas pelos alunos do IFBA, Simões Filho	119
Figura 64 -	Telha de zinco convencional	120
Figura 65 -	Tarugos de compósito de EMLI	121
Figura 66 -	Conjunto de engrenagens	121
Figura 67 -	Conjunto de polias	121
Figura 68 -	Ponta de eixo	122
Figura 69 -	Peças decorativas (<i>ecodesign</i>) e de utilidade	123
Figura 70 -	Plataforma de um robô didático	123
Figura 71 -	Caixa para detecção de corrosão em biodiesel	124

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 01 -	Difratograma do EMLI	104
Gráfico 02 -	Resistência ao impacto	105
Gráfico 03 -	Absorção de água dos compósitos	108
Gráfico 04 -	Tensão x deformação médio CPLs	110
Gráfico 05 -	Tensão Gráfico dos ensaios de Flexão em três pontos – Médias	113
Gráfico 06 -	Análise termogravimétrica TG/DTA 0% de resíduo de EMLI	114
Gráfico 07 -	Análise termogravimétrica TG/DTA 10% de resíduo de EMLI	115
Gráfico 08 -	Análise termogravimétrica TG/DTA 20% de resíduo de EMLI	115
Gráfico 09 -	Análise termogravimétrica TG/DTA 30% de resíduo de EMLI	116
Gráfico 10 -	Análise termogravimétrica TG/DTA 40% de resíduo de EMLI	116
Gráfico 11 -	Análise termogravimétrica do EMLI	116

LISTA DE EQUAÇÕES

- Equação nº 01 -** Limite de resistência a tração
- Equação nº 02 -** Módulo de Yang na tração
- Equação nº 03 -** Limite de resistência a flexão
- Equação nº 04 -** Módulo de elasticidade
- Equação nº 05 -** Energia potencial
- Equação nº 06 -** Condutividade térmica
- Equação nº 07 -** Resistência térmica
- Equação nº 08 -** Calor específico
- Equação nº 09 -** Difusividade térmica
- Equação nº 10 -** Densidade aparente
- Equação nº 11 -** Peso específico
- Equação nº 12 -** Absorção de água
- Equação nº 13 -** Erro de medição na absorção de água
- Equação nº 14 -** Grau de cristalinidade

LISTA DE TABELAS

Tabela 01 -	Propriedades mecânicas de fibras vegetais e vidro	34
Tabela 02 -	Participação do mercado por segmento	45
Tabela 03 -	Participação do mercado por região	45
Tabela 04 -	Índice de Cristalinidade de algumas fibras naturais	65
Tabela 05 -	Propriedades da POR Arazen - AZ 1.0	74
Tabela 06 -	Quantidade de resina e EMLI	85
Tabela 07 -	Normas, medidas e quantidades de CPL	85
Tabela 08 -	Parâmetros da máquina universal de tração	88
Tabela 09 -	Ensaio de Potencial Hidrogeniônico	102
Tabela 10 -	Resultados do ensaio do peso específico	103
Tabela 11 -	Resultado do FRX	104
Tabela 12 -	Densidade do Compósito e Matriz (g/cm ³)	105
Tabela 13 -	Resultados dos Ensaio de impacto para os compósitos de EMLI	106
Tabela 14 -	Resultado de absorção de água dos compósitos de EMLI	107
Tabela 15 -	Propriedades térmicas dos compósitos de EMLI	108
Tabela 16 -	Resultados comparativos entre o fabricante e o ensaio a RPO	110
Tabela 17 -	Resultado dos ensaios de resistência a tração	111
Tabela 18 -	Comparação Módulo de Young e Resistência à tração	112
Tabela 19 -	Comparação de resultados fabricantes x ensaio	112
Tabela 20 -	Resultado dos ensaios de resistência a flexão	113
Tabela 21 -	Temperatura de degradação do compósito e resina matriz	117
Tabela 22 -	Perda de Água	117

LISTA DE UNIDADES DE MEDIDAS

$^{\circ}\text{C}\cdot\text{cm}/\text{W}$	Grau Celsius por centímetro por Watt (resistividade)
cm	Centímetro (comprimento)
g/cm^3	Gramas por centímetro cúbico (densidade)
GPa	Giga pascal, unidade padrão de pressão
$\text{Mj}/\text{m}^3\text{k}$	Mega Joule por metro cúbico Kelvin (calor específico)
μm	Micrometro (tamanho)
mm^2/s	Milímetro quadrado por segundo (difusividade)
MPa	Mega pascal, unidade de medida de pressão
$^{\circ}\text{C}$	Graus Celsius, medida de Temperatura S.I
w/mk	Watt por metro Kelvin (condutividade)

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AA	Absorção de Água
ABMACO	Associação Brasileira de Materiais Compósitos
ASTM	<i>American Society for Testing and Materials</i>
CPL	Corpo de Prova Licuri
DRX	Difração de Raios-X
EMLI	Exocarpo moído do licuri
FRX	Fluorescência de Raios-X
IFBA	Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Bahia
MEV	Microscopia Eletrônica de Varredura
pH	Potencial Hidrogeniônico
PVC	Cloreto de polivinil
RPO	Resina Polimérica Ortoftálica
UFRN	Universidade Federal do Rio Grande do Norte

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	20
1.1	OBJETIVO GERAL	21
1.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	21
2	REVISÃO DA LITERATURA	23
2.1	FIBRAS VEGETAIS	23
2.2	MATERIAIS COMPÓSITOS	35
2.2.1	Características importante nos compósitos	39
2.2.2	Classificação dos Compósitos	40
2.3	CATEGORIA DAS RESINAS POLIÉSTER	42
2.3.1	Aplicabilidade da Resina Poliéster Ortoftálica	44
2.3.2	Processos de fabricação dos compósitos poliméricos	45
2.3.3	Laminação Manual	47
2.4	INFLUÊNCIA DA INTERFACE NAS PROPRIEDADES DOS COMPÓSITOS	47
2.4.1	Cargas de Enchimento	48
2.4.1.1	Principais características da utilização das cargas de enchimento em um compósito	49
2.5	MATRIZES POLIMÉRICAS	50
2.5.1	Matrizes Termofixas	51
2.5.2	Matrizes termoplásticas	51
2.6	MATERIAIS PARTICULADOS	52
2.6.1	Fragmentação de Sólidos	52
2.6.2	Mecanismos de Redução de Tamanho	53
2.6.2.1	Escalas Granulométricas	54
2.6.2.2	Tipos de Equipamentos	54
2.7	ENSAIOS DE CARACTERIZAÇÃO	54
2.7.1	Propriedades Mecânicas	55
2.7.2	Propriedades Térmofísicas	58
2.7.2.1	Condutividade Térmica	59
2.7.2.2	Resistência Térmica	60
2.7.2.3	Calor Específico	61
2.7.2.4	Difusividade Térmica	61
2.8	DENSIDADE APARENTE	62
2.9	PESO ESPECÍFICO	62
2.10	ABSORÇÃO DE ÁGUA	63
2.11	ÍNDICE DE CRISTALINIDADE	64
2.12	POTENCIAL HIDROGENIÔNICO (pH) DO EMLI	66
2.13	ANÁLISE TERMOGRAVIMÉTRICA (TGA)	66
2.14	MICROSCOPIA ELETRÔNICA DE VARREDURA (MEV)	68
3	MATERIAIS E MÉTODOS	72
3.1	MATERIAIS	73
3.1.1	Resíduo do licuri - EMLI	73
3.1.2	Resina Poliéster Ortoftálica (RPO)	74
3.1.3	Catalizador ou provedor de cura	75
3.1.4	Desmoldante	75
3.1.5	Molde	75

3.2	OBTENÇÃO DO EMLI	76
3.3	CARACTERIZAÇÃO DO EXOCARPO DO LICURI	77
3.3.1	Potencial Hidrogeniônico (pH)	78
3.3.2	Análise por Microscopia Eletrônico de Varredura – MEV	78
3.3.3	Granulometria	79
3.3.4	Análise de Difração de Raios-X (DRX)	80
3.3.5	Análise de Fluorescência de Raios X (FRX)	81
3.3.6	Peso Específico	82
3.4	PREPARAÇÃO DO COMPÓSITO	83
3.4.1	Caracterização do Compósito	87
3.4.2	Características Mecânicas	88
3.4.3	Ensaio de impacto <i>Gardner</i>	89
3.4.4	Análise Termogravimétrica – TGA/DTA	90
3.4.5	Propriedades Termofísicas	91
3.4.6	Ensaio de Absorção de Água	93
3.4.7	Densidade Aparente	94
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	96
4.1	ANÁLISE MICROESTRUTURAL DO EMLI	96
4.2	ANÁLISE MICRO ESTRUTURAL DOS COMPÓSITOS	97
4.3	ANÁLISE DO pH	102
4.4	GRANULOMETRIA	102
4.5	PESO ESPECÍFICO	103
4.6	DIFRAÇÃO DE RAIOS X E FLUORESCÊNCIA DE RAIOS X	104
4.7	ENSAIO DE DENSIDADE	105
4.8	ENSAIO DE IMPACTO	105
4.9	ABSORÇÃO DE ÁGUA	107
4.10	PROPRIEDADES TÉRMICAS	108
4.11	ENSAIO DE RESISTENCIA A TRAÇÃO	109
4.12	ENSAIOS DE RESISTENCIA A FLEXÃO EM TRÊS PONTOS	112
4.13	ANÁLISE TERMOGRAVIMÉTRICA	114
4.14	POTENCIAL APLICAÇÃO DO COMPÓSITO DE EMLI	118
5	CONCLUSÕES	125
	REFERÊNCIAS	126
	ANEXO A	133

1 INTRODUÇÃO

Atualmente, devido à preocupação crescente com o meio ambiente e a inevitável redução de custos para aperfeiçoar a produção e tornar o produto final mais acessível, torna-se imprescindível a utilização de matérias-primas alternativas sustentáveis e com boa aceitação no mercado; neste contexto, pesquisadores investem em novos materiais compósitos a base de resina poliéster cristal, reforçados com fibras sintéticas e ou fibras vegetais, ou ainda usando como carga.

Seguindo esta tendência, diversos segmentos industriais têm investido de maneira maciça na substituição de materiais tradicionais por compósitos no processo de construção de barcos, aviões, carros, bicicletas etc., como também na confecção de peças estruturais que não necessitem de grandes esforços, a exemplo das engrenagens, polias e calços. (CALLISTER, 2012).

Hoje, graças ao desenvolvimento da indústria aeronáutica e aeroespacial, os materiais compósitos deram um salto significativo, melhorando seu desempenho e tornando-os mais sofisticados com aplicações o mais diversificada possível, indo de aeronaves a pontes. Salientando que este movimento é mais visível na indústria automotiva, pois a facilidade de testes estruturais é mais rápida e de forma mais segura, levando portanto a menor tempo para sua aplicabilidade e por conseguinte apresentam os benefícios mais rápido, redução do consumo de combustível, por exemplo. (SHACKELFORD, 2008).

Consideram-se as propriedades e características desses materiais (alongamento, peso específico, resistência mecânica, estabilidade térmica etc.) de fundamental importância, pois, são determinantes na definição de aplicabilidade, estando diretamente ligadas à matriz, que é a resina, e ao reforço ou carga de enchimento, que é o exocarpo moído do licuri (*Syagrus Coronata*), sendo que a empregabilidade e aderência deste, cria uma interface na qual as propriedades individuais praticamente desaparecem, dando lugar às propriedades que vão caracterizar o compósito.

A aplicação estrutural, principalmente em peças de pouca ou média solicitação mecânica, assim como em peças decorativas (*ecodesign*), vem se ampliando de forma significativa, o que leva um crescente mercado inovador a

investir e buscar novos materiais e a aperfeiçoar processos já existentes de modos de fabricação. No Brasil, entre as fibras com maior aceitação no mercado estão as de sisal, curaua, algodão, linho, juta, rami, licuri, coco e bananeira. (OLIVEIRA, 1997; LEÃO, 2009; MOTA, 2010).

Neste contexto, o presente estudo objetiva apresentar a viabilidade da utilização de um material particulado vegetal, oriundo do exocarpo do licuri, em um compósito à base de resina poliéster cristal. A escolha deste material se dá pela facilidade de obtenção do mesmo, já que segundo Drumond (2007) todos os anos cerca de 3 toneladas por hectare desta casca (exocarpo) são descartadas após a colheita dos frutos e o beneficiamento da amêndoa, pois seu aproveitamento é quase nulo, não é valorizado e não agrega valor para o produtor.

Este trabalho tem a proposta de estudar o aproveitamento do exocarpo do licuri, fruto nativo no semiárido baiano, onde o principal aproveitamento é o endocarpo (amêndoa) para fins alimentícios e das suas folhas (fibras) para confecção de artesanato. Esses resíduos após cominuição serão utilizados como carga de enchimento na fabricação de um compósito polimérico.

Considerando que atualmente muitas famílias do semiárido baiano vivem desta cultura, logo, este trabalho está focado na fabricação de um material em que serão utilizadas cascas do licuri seco e moído (exocarpo) e resina poliéster cristal, com as quais foram confeccionados corpos de prova (CPL), sendo estes, submetidos a ensaios e testes laboratoriais de acordo com as normas vigentes, e posteriores testes para comprovações técnicas dos resultados obtidos.

1.1 OBJETIVO GERAL

Caracterizar e analisar as propriedades mecânicas e térmicas do exocarpo do licuri e do compósito polimérico tendo como matriz uma resina poliéster ortoftálica.

1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Desenvolver um compósito particulado com exocarpo do licuri moído (EMLI);
- Comprovar a viabilidade deste compósito;

- Efetuar análise microscópica e macroscópica da fratura;
- Caracterizar termicamente este compósito;
- Determinar as características e propriedades mecânicas deste compósito.

2 REVISÃO DA LITERATURA

2.1 FIBRAS VEGETAIS

Na busca por novos materiais para reforço ou enchimento em compósitos, pesquisadores passaram a utilizar fibras e pós de origem mineral, em decorrência destes possuírem boa estabilidade térmica e mecânica, tendo como mais utilizadas a fibra de vidro e posteriormente a de carbono.

Na década de 80, porém, o interesse pelas fibras vegetais aumentou novamente, devido ao fato de estas serem provenientes de fontes renováveis, biodegradáveis, recicláveis e representarem uma nova fonte de renda para população rural, além de trazerem economia de energia por meio da redução de peso dos componentes. (LEÃO, 2009).

Outras vantagens das fibras vegetais em relação aos reforços convencionais (como as fibras de vidro) são: baixo custo, baixa densidade, algumas com elevada tenacidade, propriedades aceitáveis de resistência mecânica específica, desgaste reduzido da ferramenta de corte, irritação respiratória reduzida, biodegradabilidade, boas propriedades térmicas, baixo conteúdo energético e uso reduzido de instrumentos para o seu tratamento ou processamento. (RANA *et al.* 2003 *apud* LEÃO, 2009; NARAYAN *et al.*, 1994 *apud* PAIVA *et al.*, 1999 a).

Segundo Young (1997 *apud* LEÃO, 2009), as fibras vegetais são agrupadas em cinco tipos, dependendo da parte e do tipo de vegetal do qual foi retirada, e podem ser classificadas em:

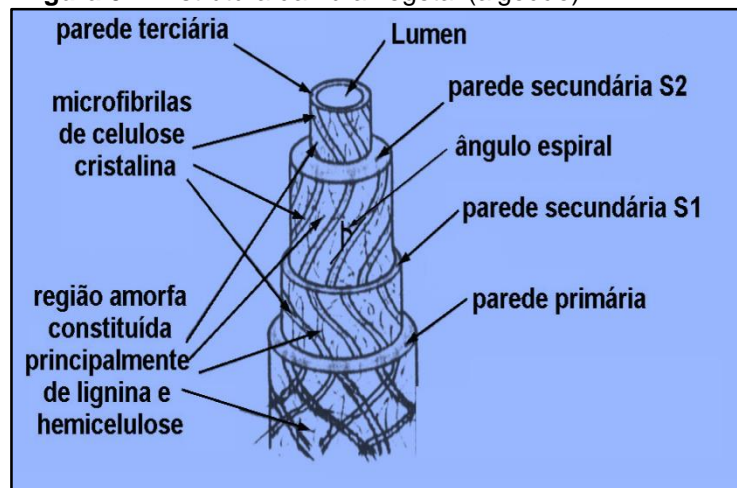
- Fibras de Gramíneas: retiradas das hastes das plantas monocotiledôneas, tendo como exemplo os cereais (trigo, aveia, cevada, arroz e outros), além do junco, bambu e bagaço de cana.
- Fibras de Folhas: retiradas ao longo do comprimento das folhas, exemplos típicos incluem a abacá, sisal e henequém.
- Fibras de Caule: São de maços retirados do interior da casca (caule) de hastes de plantas, tendo como exemplos, linho, Juta, cânhamo e kenaf.

- Fibras de Sementes e Frutos: Os exemplos mais comuns são o algodão, a paina e a esponja de *Luffa cylindrica*.
- Fibras de Madeiras: São fibras provenientes do xilema de vegetais (angiospermas e gimnospermas), tendo como exemplos os eucaliptos, abetuos, pinus, entre outros.

Cada fibra vegetal é constituída de várias fibras elementares fortemente ligadas entre si por um material de cementação, constituído principalmente de lignina. Esta possui uma parede espessa formada por várias microfibrilas que formam espirais ao longo do eixo da fibra, tendo um lúmen no centro. Cada fibra elementar é, em essência, um compósito em que as rígidas microfibrilas de celulose estão envolvidas por uma matriz de lignina e hemicelulose. A lignina atua como o material de cementação, unindo as microfibrilas e a hemicelulose como interface entre a microfibrila de celulose e a lignina. (IPT, 1988).

As fibras diferem em sua composição e na orientação das fibrilas (ângulo espiral). Tais características dependem da origem da fibra e são determinantes nas suas propriedades mecânicas. A Figura 01 mostra a estrutura de uma fibra vegetal.

Figura 01 - Estrutura da fibra vegetal (algodão)



Fonte: Banco de dados da BPMCC – DEM/UFRN, 2009.

Os principais componentes químicos das fibras vegetais são substâncias polares, tais como a celulose, a hemicelulose (ou polioses) e a lignina, com menores percentuais de outros componentes como pectina, cera e substâncias solúveis em

água. A composição química varia ligeiramente de acordo com a região de cultivo, tipo de solo e condições climáticas.

Em geral, o teor de celulose varia entre 60%-80%, o teor de lignina em torno de 5%-20%, enquanto que outras misturas em cerca de 20%, exceto para algumas espécies de algodão, em que o teor de celulose pode chegar a até 95%. (LEÃO, 2009).

Os constituintes menores incluem compostos orgânicos de diversas funções químicas e, em menor quantidade, os compostos inorgânicos. Os constituintes solúveis em solventes orgânicos, em água, ou ainda em ambos, são normalmente denominados extrativos. Os principais constituintes variam dentro de uma faixa relativamente grande e são dependentes do tipo de fibra.

Celulose, a mais abundante substância polimérica natural, perfazendo aproximadamente a metade das madeiras, tanto coníferas como folhosas. Sua estrutura é formada por carbono, pontes de hidrogênio e hidroxilas. As forças intermoleculares das pontes de hidrogênio, presentes nos grupos hidroxilas, fazem com que a estrutura cristalina se torne inerte em solventes comuns. (LEÃO, 2009; MENDES, 1992 *apud* FONSECA, 1998);

A celulose, principal componente da parede celular da fibra, é um polissacarídeo linear constituído por um único tipo de unidade de açúcar. É o componente majoritário, perfazendo aproximadamente a metade das madeiras tanto coníferas como folhosas. A celulose pode ser caracterizada como um polímero de alta massa molar, constituído exclusivamente de b-D-glucose, que se liga entre si através dos carbonos 1 e 4, dando origem a um polímero linear. (MORRISON e BOYD, 1981; IPT, 1988; FENGEL e WEGENER, 1989; FRANZ e BLASCHECK, 1990 *apud* LEÃO, 2009).

As moléculas de celulose tendem a formar ligações de hidrogênio intramoleculares (entre unidades de glucose da mesma molécula) e intermoleculares (entre unidades de glucose de moléculas adjacentes). O primeiro tipo de interação é responsável por certa rigidez das cadeias unitárias, e o segundo, pela formação da fibra vegetal. Assim, as moléculas de celulose alinham-se formando as microfibrilas, as quais formam as fibrilas que, por sua vez, se ordenam para formar as sucessivas paredes celulares das fibras. (SJÖSTRÖM, 1993 *apud* LEÃO, 2009).

A celulose exibe regiões cristalinas (altamente ordenada) e amorfas (altamente ramificada e desordenada). Materiais gasosos, água e outros líquidos podem penetrar facilmente nas fibrilas e nas microfibrilas devido aos inúmeros capilares e pequenos orifícios encontrados nas regiões amorfas da parede celular. O polímero por si é acessível à água e a agentes químicos através das regiões amorfas e através da superfície das regiões cristalinas. (BALÁZSY e EASTOP, 1999 *apud* LEÃO, 2009).

Hemicelulose, constituem uma mistura de polissacarídeos de baixa massa molar que variam entre 25.000 a 35.000, os quais estão em estreita associação com a celulose e a lignina nos tecidos vegetais. O teor e a proporção dos diferentes componentes nas hemicelulose de madeira e fibras variam grandemente conforme a espécie de árvore. A maior parte das hemicelulose pode ser extraída por tratamento com soluções alcalinas e aquosas. Soluções alcalinas de hidróxido de sódio e potássio são as mais utilizadas para a extração de hemicelulose. A hemicelulose é o componente responsável pela biodegradação, absorção de umidade e degradação térmica da fibra. (BROWNING, 1963; FENGEL e WEGENER, 1989 *apud* LEÃO, 2009).

A lignina é uma substância macromolecular componente da madeira, ou seja, um polímero amorfo de composição química complexa que confere firmeza e rigidez estrutural ao conjunto de fibras de celulose, atuando como um agente permanente de ligação entre as células. As moléculas de lignina diferem dos polissacarídeos, por serem constituídas de um sistema aromático composto por unidades de fenilpropano. Há maior teor de lignina em coníferas do que em folhosas e existem diferenças estruturais entre a lignina encontrada nas coníferas e nas folhosas. (CHAND *et al.*, 1987 *apud* LEÃO, 2009; IPT, 1988; FENGEL e WEGENER, 1989).

A maioria das ligninas contém quantidades variáveis de certos ácidos carboxílicos aromáticos na forma de éster. A constituição da lignina não é a mesma em todas as plantas, pois não é uma substância química definida, mas sim uma classe de compostos correlatos. Assim, sua macromolécula não pode ser descrita como uma combinação simples de algumas unidades monoméricas ligadas por alguns tipos de ligações, como no caso das celulosas e hemicelulose. (IPT, 1988; SJÖSTRÖM, 1993 *apud* LEÃO, 2009).

Extrativos vegetais, são compostos orgânicos (terpenóides, ácidos graxos, flavonóides, esteróides e outros compostos aromáticos) que não fazem parte da parede celular lignocelulósicas. São chamados de extrativos devido à sua facilidade de serem extraídos com água, solventes orgânicos neutros, ou volatilizados a vapor. Na sua maioria, esses materiais podem ser separados da porção lignocelulósicas por extração com solventes orgânicos e água. Esses constituintes são frequentemente responsáveis por determinadas características da planta como: cor, sabor, cheiro e resistência natural ao apodrecimento. (LEÃO, 2009, BROWNING, 1963; BLEDSKI e GASSAN, 1999; LEWIN e GOLDENSTEIN, 1991).

Os extrativos compõem uma extraordinária diversidade de compostos e sua ocorrência varia de acordo com a espécie vegetal, ocorrendo nas cascas, folhas, frutos e sementes em quantidades variáveis, porém, quase sempre superiores às encontradas na fibra. O teor de extrativos nas fibras gira em torno de 3% -10%. (FENGEL e WEGENER, 1989; IPT, 1988; ROWELL *et al.*, 2000; SJÖSTRÖM, 1993 *apud* LEÃO, 2009).

Resíduo do Licuri (*Syagrus coronata*), pertence à família das palmáceas (*Cocos coronata*) e ocorre desde o sul de Pernambuco até o norte de Minas Gerais, abrangendo toda a área oriental e central da Bahia, ocupando também os estados de Sergipe e Alagoas. (NOBLICK, 1986 *apud* LEÃO, 2009) em regiões de serras e vales, sendo seus frutos ricos em cálcio, magnésio, cobre e zinco.

O licuri é uma das principais palmeiras da região semiárida do nordeste do Brasil, de onde é nativo. Segundo Bondar (1938 *apud* LEÃO, 2009) poder-se-ia mesmo precisar que a palmeira licuri é baiana. Suas folhas também são muito utilizadas para confecção de artesanatos por mulheres e crianças em todo o semiárido baiano.

Os municípios de Caldeirão Grande e Mairi no semiárido baiano, distantes 400 Km de Salvador, destacam-se pela produção artesanal do licuri, ou seja, não existem Fazendas de licurizeiros, o que existe são palmeiras que nasceram e se reproduziram pela caatinga ao longo dos anos, quer seja pela ação das fezes de animais ruminantes, quer seja pela disseminação através da ararinha azul de Lear.

Trata-se de uma planta reconhecida na composição da caatinga. Mede de 8 m a 11 m, tendo folhas com mais ou menos 3 m de comprimento, pinadas de pecíolo

longo com bainha invaginante, e seus folíolos, de coloração verde-escura, estão arranjados em vários planos (LORENZI, 1992 *apud* LEÃO, 2009).

O licuri é essencial na região agreste, pois seus frutos e sementes são comestíveis e formam a base alimentar de muitas aves silvestres. A ararinha-azul-de-lear, por exemplo, é uma das espécies mais conhecidas e preciosas que faz uso desse coquinho. Vivendo no sertão baiano, na região do Raso da Catarina, esse pássaro está ameaçado de extinção – restam apenas cerca de 500 exemplares selvagens – e a sua sobrevivência como espécie está intimamente ligada à existência do licuri. (CEMAVE, 2006 *apud* LEÃO, 2009).

A Figura 02 mostra a árvore de licuri (*Syagrus coronata*) e a 03 o fruto do licuri inteiro (a) e descascado (b).

Figura 02 - Árvore de Licuri (*Syagrus coronata*)



Figura 03 - Licuri (a) inteiro e (b) descascado



Fonte: (b) Leão, 2009.

Apesar de conseguir nascer e crescer sobre o cascalho e de precisar de pouca umidade para sobreviver, ao contrário do que poderia parecer por sua aparência agreste, ocorre naturalmente em solos de boa fertilidade. Segundo Lorenzi (1992 *apud* LEÃO, 2009), as terras dos sertões são terras boas, que produzem uma grande quantidade de sementes viáveis, disseminadas facilmente por animais silvestres. A Figura 04 apresenta as fibras do licuri.

Figura 04 - Fibras de Licuri (*Syagrus coronata*)



Fonte: Leão, 2009.

Pouca ou nenhuma literatura é encontrada em relação às propriedades das fibras do licuri, mas, sabe-se experimentalmente de sua grande resistência pela utilização das mesmas na confecção de redes de pesca.

Fibra de coco, são materiais ligninocelulósicos obtidos do mesocarpo do coco (*cocus nucifera*), e se caracterizam pela sua dureza e durabilidade atribuída ao alto teor de lignina, em comparação às outras fibras naturais. Muito utilizadas em assentos para automóveis, ônibus e caminhões, proporcionam maior conforto que os assentos convencionais, principalmente térmicos, já que esquentam menos, além de serem mais leves.

O reaproveitamento das cascas do coco, de onde são retiradas as fibras, é de suma importância, já que as mesmas são materiais que possuem um tempo de vida útil bastante reduzido, o que contribui para o aumento do lixo sólido, principalmente nos grandes centros urbanos. Assim, é importante o desenvolvimento de novas tecnologias que visem à diminuição desse lixo. Outra vantagem é a de ser uma fonte renovável e biodegradável, ao contrário dos produtos utilizados à base de petróleo, como a espuma de poliuretano (GEETHAMMA *et al.*, 1998 *apud* LEÃO, 2009). A Figura 05 mostra fibras de coco.

Figura 05 - Fibras do bagaço de coco seco



A desvantagem desta fibra ainda é o maior preço em relação aos produtos derivados do petróleo.

A juta, é uma planta da família das *Filáceas* e sua fibra é obtida principalmente das espécies *Corchorus*, cultivadas em grande escala na Índia e Bangladesh. Planta de clima quente e úmido, necessita de solo fértil e bem drenado para seu desenvolvimento. No Brasil, o seu plantio se dá na região alagadiça da Amazônia, onde encontra água em abundância e altas temperaturas.

Apresentando excelentes propriedades ecológicas, pois é biodegradável e durante seu crescimento controla a erosão, a fibra da juta (Figura 06) é considerada longa, variando de 25 até 300 milímetros, sendo utilizada em sacarias, especialmente para armazenamento de produtos agrícolas e bolsas esportivas. No Brasil, são amplamente utilizadas para acondicionamento de batata, café e açúcar, principalmente em produtos que serão exportados, sobretudo para países que adotam criterioso controle ambiental. (LEÃO, 2009; OLIVEIRA, 1997).

Figura 06 - Tecido de fibra de juta



O curauá é uma planta da família das Bromeliaceas, gênero *Ananas* e espécie *Ananas Erectifolius*. Dentre as fibras naturais comumente utilizadas em compósitos poliméricos, a fibra de curauá vem ganhando destaque por ser originária e cultivada na Amazônia, região de destaque nas questões de preservação do meio ambiente, além de apresentar propriedades físicas e mecânicas que superam às das fibras de sisal e juta, mais conhecidas e utilizadas.

As fibras de curauá são originadas das folhas e podem apresentar comprimentos variando de 40 cm a 60 cm. Os tipos de fibras de curauá mais conhecidos são as dos tipos roxo e branco. A Figura 07 mostra as fibras já limpas e “penteadas” e prontas para serem usadas com reforço. (AQUINO e SILVA, 2008 *apud* LEÃO, 2009).

Figura 07 - Fibras de Curauá prontas para impregnação em plástico reforçado



Fonte: Banco de dados da BPMCC – DEM/UFRN, 2009.

Fibra de sisal, a retirada da folha de uma planta originária do México, a *Agave Sisalana Perrine*, sendo atualmente o Brasil o maior produtor do mundo e a Bahia responsável por 80% da produção nacional. Planta altamente resistente a clima seco e inóspido, pertence à família das fibras longas, as quais variam de 90 cm a 120 cm. A Figura 08 mostra a fibra do sisal já beneficiada e pronta para comercialização.

Figura 08 - Fibras de Sisal

Fonte: Banco de dados da BPMCC – DEM/UFRN, 2009.

É a fibra vegetal mais dura e resistente que existe. O sisal é muito utilizado para confecção de produtos artesanais tais como bolsas, chapéus, cintos, cortinas, cordas de vários usos, inclusive navais, barbantes para vários tipos de embalagens, tapetes, na produção de estofados, adubos orgânicos, biofertilizantes e sacaria, entre centenas de outros produtos.

A fibra de sisal se destaca entre as fibras foliares em termos de qualidade e de aplicação comercial, e também por possuir um dos maiores valores de módulo de elasticidade. Estudos recentes demonstram que o sisal pode ser utilizado como reforço para polímeros comerciais, tais como o polietileno e a borracha natural. (VARGHESE *et al.*, 1994, JOSEPH *et al.*, 1995 *apud* LEÃO, 2009).

As fibras de sisal são também empregadas na indústria automobilística em substituição à fibra de vidro, tendo como uma das vantagens a maior capacidade de absorção da transpiração humana, o que resulta em maior conforto para os utilizadores de veículos automotivos, principalmente os profissionais que passam longos períodos sentados. Empresas como a Mercedes Benz da Alemanha utilizam em seus estofamentos fibras vegetais. Também a utilização do sisal como reforço de peças plásticas na indústria automobilística tem sido bastante satisfatório.

Fibra de rami, planta da família da *Urticaceae*, e sua fibra é oriunda do líber da *Boehmeria Nivea* e da *Boehmeria Tenacissima*. Suas fibras pertencem à família das fibras longas, variando entre 150 mm a 200 mm, apresentando alta resistência,

sendo esta três vezes superior à do cânhamo, quatro vezes à do linho e oito vezes à do algodão. A Figura 09 mostra fibras de rami.

Figura 09 - Fibras de rami



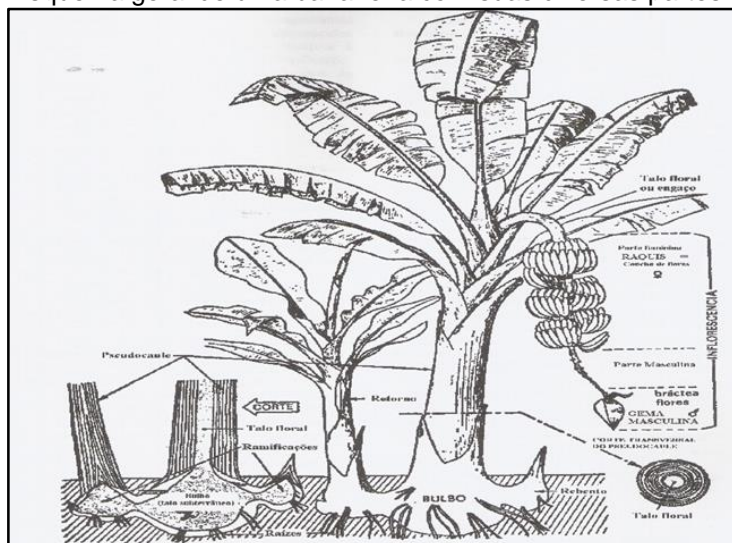
Fonte: Banco de dados da BPMCC – DEM Fibra /UFRN, 2009.

A fibra do rami é utilizada na fabricação de tecidos, cordas e barbantes, gerando também, devido a sua resistência, a celulose para a produção de papel moeda. É também usada na fabricação de ma

ngueiras, pneus e fios de para-quedas. Os tecidos feitos de rami são mais ásperos que o linho, porém com a adição de outras fibras sintéticas este problema é minimizado, tornando-o um substituto do linho, pelo seu menor custo (OLIVEIRA, 1997). O Brasil é o terceiro maior produtor mundial, perdendo apenas para a China e as Filipinas, sendo no Paraná a maior concentração da cultura.

A bananeira, planta muito comum em áreas tropicais e subtropicais, cujo nome científico é *Musa Musácea*, atinge uma altura entre 5 e 7 metros e diâmetro de até 35 cm. Na mata, serve de alimento para vários tipos de animais silvestres, desde macacos até aves. Tem seu cultivo basicamente para a retirada dos frutos que, por serem baratos, saborosos e ricos em vitaminas e sais minerais, fazem parte do cardápio de quase toda a população brasileira, independente de classe. O restante da planta é cortado e descartado quase que na sua totalidade como resíduo. Existe uma infinidade de tipos de bananeiras e todas elas se adaptaram ao tipo de solo e clima do Brasil, portanto é muito comum o plantio desta árvore em todo o Estado da Bahia.

Na Figura 10 ver um esquema geral de uma bananeira com suas diversas partes constituintes.

Figura 10 - Esquema geral de uma bananeira com suas diversas partes constituintes

Fonte: Champion, 1968 *apud* Coelho, Mata e Braga, 2001, p. 23.

Na Tabela 01, é possível observar as propriedades mecânicas das fibras vegetais, comparando-as com a fibra de vidro, dando-se destaque à fibra de banana. Em seguida, na Figura 11, observa-se a planta e suas fibras.

Tabela 01 - Propriedades mecânicas de fibras vegetais e vidro

Fibras	Densidade (g/cm ³)	Resistência À Tração (MPa)	Módulo à Tração (GPa)	Alongamento Máximo (%)	Resistência à Tração (MPa)*	Módulo à Tração (GPa)*
Fibra de vidro	2,6	1750	-	2,1	2000	70
Linho	-	-	-	-	390	26
Linho batido	1,4	195	22,3	1,2	-	-
Linho verde	1,4	337	29	1,3	-	-
Cânhamo	-	-	-	-	580	13
Cânhamo batido	1,4	295	16,3	1,1	-	-
Cânhamo verde	1,4	173	7,5	1,9	-	-
Sisal	1,3	126	3,8	-	835	37
Coco	1,2	149	-	23,8	-	-
Rami	1,4	393	7,3	1,8	900	24
Banana	1,2	74	2,2	3,2	914	32

Fonte: Schuh e Gayer, 1997 *apud* Silva, 2009.

Figura 11 - Bananeira e suas fibras



2.2 MATERIAIS COMPÓSITOS

Materiais compósitos são aqueles compostos de no mínimo duas fases distintas com características próprias, sendo uma chamada de matriz que é constituída geralmente por uma resina e é a porção mais continua do compósito e a outra chamada de carga ou reforço (CALLISTER, 2012), que pode ser uma fibra vegetal ou mineral (MOTA, 2010); e, de acordo com Leão (2009), na moldagem destas duas fases ocorre um “Endurecimento” polimérico através de um processo de cura, que acopla as duas fases, proporcionando ao material final, propriedades especiais que definem sua moderna e ampla aplicabilidade.

Segundo Hull (1988), para um material ser considerado "compósito", no que diz respeito às aplicações estruturais, deve-se considerar os três fundamentos citados abaixo:

- União de dois ou mais materiais fisicamente distintos e separáveis mecanicamente;
- Podem ser produzidos de modo a ser possível controlar a proporção de cada um dos elementos utilizados para a sua fabricação, objetivando-se obter propriedades ótimas; e,

- As propriedades obtidas no composto são superiores e, possivelmente, únicas, se comparadas aos componentes em separados.

Como componentes estruturais de reforço podem ser utilizados materiais orgânicos ou inorgânicos, sendo os mesmos de grande importância, pois, além de darem resistência e rigidez ao compósito, podem melhorar, também, propriedades físicas e químicas. A escolha de um reforço é bastante complexa, pois existem variações de tipos, formas e tamanhos, entre outros fatores, podendo ser usado, assim, mais de um tipo de reforço, formando uma combinação híbrida. (OLIVEIRA, 2007; FONSECA, 1998).

Os principais requisitos para escolha de um reforço são: melhoria nas qualidades desejadas, baixa absorção de umidade, baixo custo, disponibilidade e compatibilidade com a matriz. Os reforços utilizando fibras são os mais utilizados em compósitos poliméricos: fibras de vidro, boro, carbono, kevlar e fibras vegetais, entre outras, e apresentam sob a forma de fios contínuos, mantas (fios picotados multidirecionais) ou tecidos (fios entrelaçados nas mais variadas formas e espessuras). (OLIVEIRA, 2007; FONSECA, 1998).

O Quadro 01 apresenta de forma resumida exemplos de constituintes dos materiais compósitos.

Quadro 01 - Classificação dos compósitos segundo a natureza dos constituintes.

Natureza dos Materiais		Exemplos
Materiais Compósitos	Naturais	- Madeiras
		- Ossos
		- Músculos
	Sintéticos	- Plástico reforçado
		- Concreto armado
		- Ligas metálicas

Fonte: Callister, 2012.

Dentre os materiais compósitos de ocorrência natural, podem-se citar os ossos de animais e as madeiras de árvores. Dentre os materiais criados pelo homem, pode-se citar o concreto armado, que é um material compósito de cimento *Portland* e de aço, e a fibra de vidro. (MOTA, 2010).

A interface envolve a existência de uma região de transição química e física ou gradiente na fronteira. Em um compósito reforçado com fibras, por exemplo, pode-se dizer que existem três fases: a superfícies da fibra, a interface fibra/matriz e a matriz. (YOSOMIYA *et al.*, 1989 *apud* OLIVEIRA, 2007).

A função básica do elemento denominado de matriz em materiais compósitos é agir como um meio de transferência ou distribuição de carga para os reforços através do cisalhamento. Outra função da matriz em um compósito é proteger o reforço da abrasão, agentes químicos e físicos e, agentes externos, a fim de se evitar a degradação pré-matura do reforço. (LION FILHO, 2013).

As matrizes utilizadas em compósitos podem ser do tipo cerâmico, polimérico e metálico conforme mostra a Figura 12:

Figura 12 - Tipos de matrizes utilizados em compósitos



Fonte: Callister, 2012.

Os materiais compósitos para aplicações estruturais tem se desenvolvido nos últimos 60 anos. A principal motivação para todo esse crescimento é a possibilidade de se obter materiais com propriedades estruturais similares às encontradas no aço e nas fibras e com excelente desempenho. (SHACKELFORD, 2008).

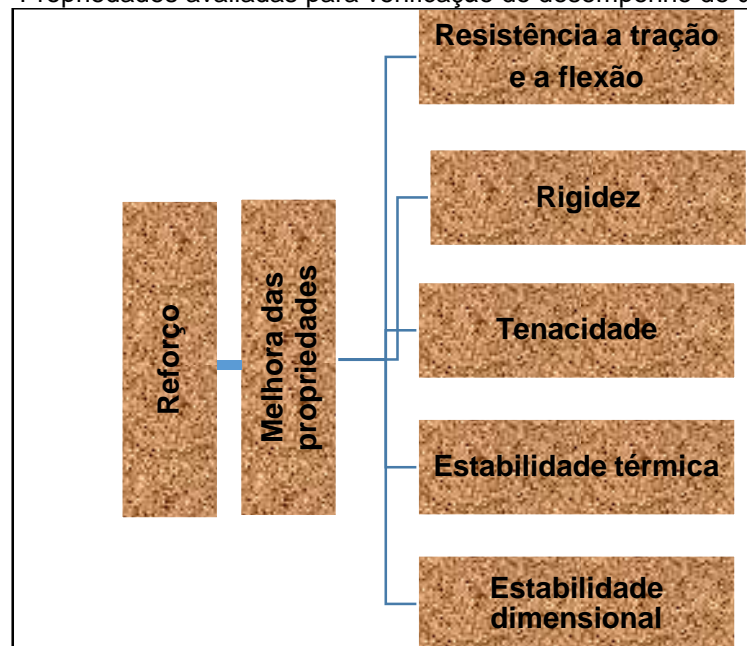
Os materiais poliméricos sem adição de reforço ou carga nem sempre apresentam características necessárias para serem aplicadas diretamente na

fabricação de uma peça. Por esse motivo elementos modificadores de suas propriedades: resistência à tração e flexão; resistências químicas a ataques ácidos e básicos; resistências à deformação ao calor são utilizados com o objetivo adequar tais propriedades a sua aplicação final. Nesse contexto os materiais compósitos surgem como alternativa para melhoria destas propriedades. (LIMA, 2007).

As cargas minerais são massivamente utilizadas em compósitos poliméricos. Entre outras razões que motivam seu uso uma das mais importantes seria a redução de custo, pois estas diminuem a quantidade de polímero empregado na fabricação da peça. Outras razões que justificam seu uso é a melhoria do processamento, modificação da densidade, mudanças de aspectos visíveis, controle de dilatação térmica, retardo de chamas, modificações das propriedades térmicas, resistência elétrica e susceptibilidade magnética, além de melhora de propriedades mecânicas, tais como a dureza módulo de elasticidade. (GARAY, 2010).

A Figura 13 apresenta o esquema resumido da função de um reforço e as principais propriedades avaliadas para verificação de desempenho de um compósito. O reforço tem como principal objetivo melhorar as propriedades físicas, químicas e mecânicas de um compósito, e através das propriedades avaliadas pode-se comprovar os ganhos e perdas ocasionadas pela adição do reforço estudado.

Figura 13 - Propriedades avaliadas para verificação do desempenho de um compósito



Fonte: Adaptado de Lion Filho, 2013.

Na procura constante do reaproveitamento de resíduos industriais surgem como uma das formas viáveis a fabricação de materiais compósitos. A utilização de rejeitos para melhorar o desempenho de materiais poliméricos pode ser avaliada sob vários aspectos, tais como: redução de peso, maior resistência mecânica, maior resistência ao desgaste, melhor estabilidade térmica, diminuição da utilização de polímeros na fabricação de peças dentre outras.

Em relação ao peso, os compósitos revelam propriedades mecânicas que podem exceder consideravelmente às dos metais. A combinação de excelentes propriedades mecânicas e leveza estrutural tornam os compósitos interessantes materiais para a engenharia. (CALLISTER, 2012).

Nos últimos anos, a procura por materiais ecologicamente corretos tem desenvolvido materiais de matrizes poliméricas biodegradáveis com fibras naturais. O baixo custo destas fibras, originárias de fontes renováveis e inesgotáveis, a baixa densidade, menor abrasão nas máquinas de processamento e a boa adesão à matriz fazem com que o uso destas fibras em compósitos estruturais cresça no setor industrial.

2.2.1 Características importante nos compósitos

Propriedades como leveza, flexibilidade, durabilidade, resistência, adaptabilidade transformam os compósitos poliméricos nos materiais do futuro. (LEÃO, 2009).

Descrevemos a seguir estas características:

- Leveza – Devido ao peso específico das resinas e das fibras de reforço, os produtos fabricados a partir dos compósitos poliméricos apresentam um baixo peso específico, o que faz com que sejam amplamente utilizados nas indústrias aeronáutica, naval e automobilística.
- Resistência Química – Apresentam excepcional inércia química, permitindo sua utilização em ambientes agressivos quimicamente. Além disso, inúmeros aditivos especiais e resinas específicas estão à disposição no mercado para solucionar aplicações que requeiram propriedades além das usuais.

- **Durabilidade** – Apresentam alta durabilidade em consequência de sua composição e ao *crosslinking* polimérico formado durante o processo de moldagem.
- **Resistência Mecânica** – Apresentam excelente resistência mecânica devido às suas características e a variedade de combinações que podem ser realizadas entre as resinas e os materiais de reforço.
- **Resistência a Intempéries** – Apresentam grande resistência aos efeitos do vento, da umidade, do sol e das oscilações térmicas. Além disso, quando características não usuais são requeridas, aditivos como protetores de UV, agentes *anti-dust*, resinas especiais são amplamente utilizáveis.
- **Facilidade na Manutenção** – Apresentam fáceis e simples técnicas de reparo e manutenção.
- **Flexibilidade Arquitetônica** – Os compósitos têm uma grande vantagem sobre outros materiais estruturais, pois moldes com formas complexas são facilmente adaptáveis aos processos em utilização.

2.2.2 Classificação dos Compósitos

Os materiais compósitos são usualmente classificados pela natureza dos materiais que os compõem e estão divididos em duas grandes categorias: materiais compósitos naturais e sintéticos, conforme apresentados no Quadro 02. Dentre os materiais compósitos sintéticos, existe ainda uma subdivisão que os classifica em microcompósitos e macrocompósitos. (OLIVEIRA, 2007; HULL, 1988).

Quadro 02 – Classificação dos materiais compósitos segundo a natureza dos constituintes

Natureza dos Materiais			Exemplos
Materiais Compósitos	Naturais		Madeira, osso, músculos
	Sintéticos	Microcompósitos	Plástico reforçado
		Macrocompósitos	Concreto Armado

Fonte: Adaptado de Hull, 1988.

Oliveira (2007) e Hull (1988) fazem uma abordagem quanto aos materiais compósitos microcompósitos, tomando como base o tamanho, forma e distribuição das duas ou mais fases. Contudo, a exemplo deste material (plásticos reforçados), pode existir a combinação da alta resistência aliada à grande flexibilidade, na qual se pode exemplificar a alta resistência da fibra ao ser utilizada numa matriz de baixa rigidez, na qual as fibras estão alinhadas na direção do carregamento.

Oliveira (2007) e Hull (1988) explicam ainda que, com o conhecimento básico do comportamento dos materiais de reforço dos compósitos, é possível superar alguns problemas que influenciam no desenvolvimento destes materiais, tais como:

- Quebra da fibra quando utilizada em matrizes termoplásticas;
- Variação das propriedades devido à umidade e variação de temperatura;
- Volume ideal de fibras para a fabricação do produto;
- Projeto do produto para que o mesmo tenha a capacidade de absorver energia;
- Desenvolvimento de materiais com resistência à tração e a corrosão;
- Resistência ao desgaste, entre outras.

Dentro da classe dos materiais microcompósitos poliméricos, os que mais se destacam com relação ao grande número de aplicações estruturais podem ser listados conforme o Quadro 03:

Quadro 03 – Classificação dos materiais compósitos quanto à natureza da matriz

Classificação	Tipos de matrizes	Tipos de reforços mais usados
Compósitos de matriz polimérica	Termoplásticas Termofixas	Fibras de vidro Fibras de carbono Fibras de aramida (Kevlar) Fibras vegetais

Fonte: Adaptado de Antequera, Jimenes e Miravete, 1991.

Segundo Hull (1988), os mais relevantes parâmetros dos microcompósitos são quanto ao tamanho, forma e distribuição dos reforços, como mostrado no Quadro 04:

Quadro 04 – Classificação dos compósitos quanto à forma, tamanho e distribuição das fibras

Forma	Tamanho	Distribuição
Fibras imersas em matrizes	Contínua Curta	Alinhada Aleatória
Particulados imersos em matrizes	Indefinido	Aleatória
Estrutura laminar	Indefinido	Ordenada Aleatória
Multicomponentes (híbridos)	-	-

Fonte: Adaptado de Hull, 1988.

Al-Qureshi (1983 *apud* OLIVEIRA, 2007) classifica os materiais compósitos com base na estrutura formada pelos materiais componentes, conforme descrição abaixo:

- Materiais compósitos fibrosos – são materiais nos quais as fibras geralmente são recobertas ou encontram-se unidas por uma matriz, podendo apresentar uma disposição orientada ou aleatória;
- Materiais compósitos laminados – consistem de uma combinação de várias camadas de compósitos. Classificam-se em três tipos: lâminas fortemente aderidas de mesmo material, porém com reforço em uma ou em várias direções, sanduíche e esqueletos (colmeias);
- Materiais compósitos particulados – são caracterizados por partículas dispersas numa matriz, na qual se podem destacar as seguintes formas: esféricas, planas, elipsoidais, maciças, ocas, entre outros;
- Materiais compósitos híbridos – São materiais que apresentam em sua constituição combinações de vários tipos de reforços, tais como: fibras e partículas, ou vários tipos de partículas ou fibras.

2.3 CATEGORIA DAS RESINAS POLIÉSTER

Poliéster é uma categoria de polímeros obtidos por meio de uma reação de condensação entre um poliálcool e um ácido policarboxílico. O tipo de ácido influencia nas propriedades finais das resinas poliésteres ortoftálicas, isoftálicas e tereftálicas. Ambos os constituintes principais, reagentes, que dão origem as resinas em questão são insaturados, ou seja, contêm uma ligação dupla relativa

entre os átomos de carbono, sendo a resina resultante insaturada. (SILVA, 2009). O Quadro 05 apresenta algumas resinas do tipo poliéster insaturada.

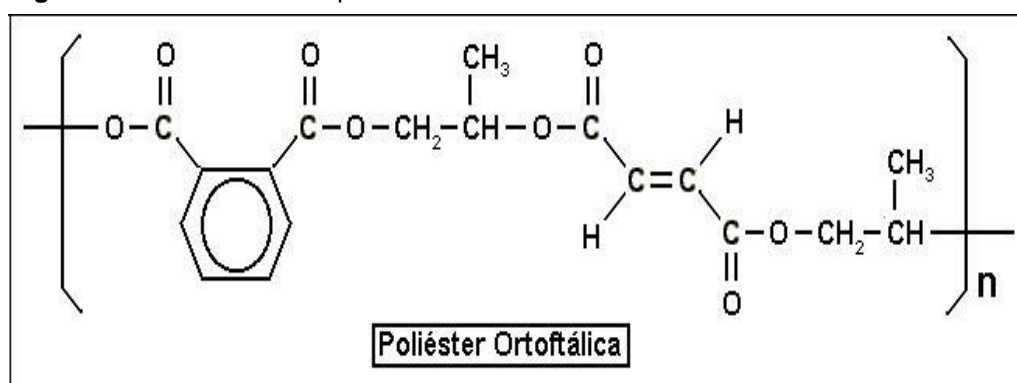
Quadro 05 - Tipos de resina poliéster

Tipos	Comentários
Ortoftálica	A mais comum e de menor custo
Tereftálica	Baixa resistência UV, resistência física pouco superior a anterior
Isoftálica	Melhores características físicas, mecânicas e térmicas que as anteriores

Fonte: Silva, 2009.

Na Figura 14 vê-se a estrutura molecular do mero formado a partir da reação química entre o poliéster insaturado e o monômero de Estireno em que o resultado final é a resina poliéster curada. O poliéster insaturado ainda na fase solúvel em monômero de estireno com instaurações, ao adicionar o catalisador às ligações duplas são quebradas fazendo-as reagirem entre si formando o mero do polímero.

Figura 14 - Mero da resina poliéster ortoftálica



Fonte: Silaex, 2015

As resinas poliéster apresentam como vantagem estabilidade dimensional, resistência a ambientes quimicamente agressivos, excelentes propriedades elétricas, fácil pigmentação, curam a frio e utilização de moldes simples e baratos (Silva, 2009). Entre as aplicações mais comuns da RPO pode-se destacar: confecção de placas planas, telhas onduladas, fabricação de barcos e piscinas, pranchas de *surf*, brindes, assentos sanitários, manequins.

2.3.1 Aplicabilidade da Resina Poliéster Ortoftálica

Segundo a Associação Brasileira de Materiais Compósitos (ABMACO, 2015), dentre as principais aplicações dos compósitos, podem-se destacar:

- Saneamento básico (tubos e estações de tratamento de água e efluentes): segmento com expressiva atuação do setor de compósitos e com grande expectativa de crescimento, uma vez que, até o ano de 2010, a Política Nacional de Saneamento prevê investimentos da ordem de R\$ 34 bilhões.
- Transporte (automotivo, ferroviário, marítimo e aéreo): o Brasil é um dos maiores fabricantes mundiais de ônibus, micro-ônibus e vans. Este fato, aliado aos investimentos das montadoras internacionais no país e ao constante crescimento deste segmento, sinaliza um excelente potencial de desenvolvimento para a indústria de compósitos. A destacada atuação do Brasil nos setores de transporte ferroviário e aeronáutico também abre boas perspectivas para as empresas.
- Químico e Petroquímico (plataformas de petróleo): 20% das plataformas de petróleo da Petrobrás já utilizam produtos fabricados a partir de compósitos, substituindo, desde dutos e equipamentos, a as grades de piso em aço.
- Construção Civil (caixas d'água, tanques, coberturas, perfis, mármore sintético, banheiras, telhas): o compósito já é amplamente utilizado por este segmento e possui um grande potencial de crescimento por se tratar de um setor em franca expansão no Brasil.
- Eletroeletrônico (leitos para cabos, antenas, elementos de isolamento, cabines telefônicas): as concessionárias de telefonia e energia elétrica já estão utilizando amplamente o compósito em suas obras de manutenção e expansão.
- Lazer (materiais para parques temáticos e piscinas): As empresas fornecedoras de matérias-primas e equipamentos disponibilizam cerca de 430 itens para o setor, como fibras de vidro, resina poliéster, agentes desmoldante, agentes tixotrópicos, aceleradores, peróxidos e outros, a maior parte fabricada nacionalmente.

Nas Tabelas 02 e 03, respectivamente, percebe-se a participação econômica dos compósitos por segmento e por região brasileira:

Tabela 02 – Participação do mercado por segmento

Segmento	Participação
Construção Civil	38%
Transporte	22%
Distribuição	19%
Saneamento e Industrial	9%
Elétrico e telecomunicação	3%
Náutico	3%
Vestuário e acessórios	2%
Outros	3%

Fonte: ABMACO, 2015.

Tabela 03 – Participação do mercado por região

Região	Participação
Sudeste	58%
Sul	28%
Nordeste	9%
Centro-Oeste	4%
Norte	1%

Fonte: ABMACO, 2015.

2.3.2 Processos de fabricação dos compósitos poliméricos

O desenvolvimento e a maneira com que os diferentes componentes dos compósitos são combinados estão intimamente relacionados com os seus métodos e processos de fabricação.

O processo a ser utilizado na produção de um compósito depende do que se quer obter como produto final (formato, dimensão e acabamento) e a escala de

produção. Kelly e Mileiko (1983) classificam os tipos de processos mais comuns nos compósitos reforçados, relacionando-os com o formato os tipos do molde utilizado ou seja, aberto ou fechado.

Os moldes abertos utilizam baixa tecnologia e geralmente são de baixo custo. Eis os principais tipos:

Laminação Manual – Onde a fibra ou reforço é colocado em um molde e impregnado com resina. Este método será abordado em item posterior.

- Laminação a pistola – Fios cortados e resina são adicionados simultaneamente em um molde preparado e um rolo é passado para retirada de bolhas e saliências antes que a resina esteja plenamente curada.
- Centrifugação – por este método resina e fibra são misturados e introduzidos em um molde rotativo e curado “*in situ*”, ou seja, no lugar.
- Enrolamento – A modelagem é feita através do enrolamento das fibras contínuas (*roving*) sobre o molde rotativo. Também pode ser utilizado mantas ou tecidos intercalado as etapas do enrolamento. Este processo é bastante utilizado na fabricação de peças cilíndricas e tubulações.

Os processos em molde fechados – São caracterizados pela presença do molde e do contramolde, bem como pelo uso de uma tecnologia mais refinada, custosa e ideal para produção em média escala. Os principais tipos são:

- Moldagem por compressão - neste processo utilizamos o material (fibra) pré-impregnado pela resina em um molde aqueci.
- Injeção - Processo empregado para alta produção e na confecção de peças das mais variadas formas, a resina é injetada por pressão em um molde fechado contendo em seu interior um reforço pré formado. Os processos mais conhecidos são: RTM (*Resin Transfer Molding*), RIM (*Resin Injection Molding*) e R-RIM (*Reinfoced RIM*).

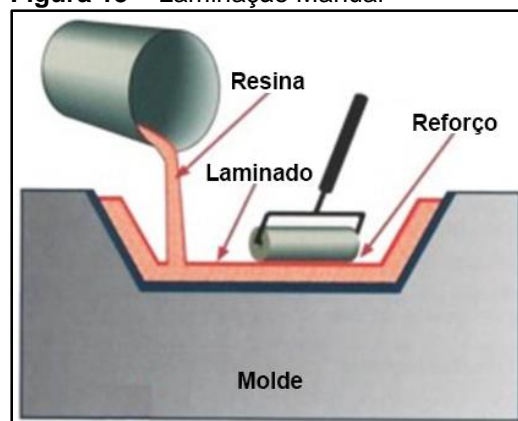
- Pultrusão – Neste processo fibras impregnadas com resinas são tracionadas através de moldes aquecidos, produzindo assim a polimerização da resina. É o processo utilizado na obtenção de perfis.

2.3.3 Laminação Manual

Existem diversos processos de fabricação de um compósito, porém vamos focar neste método, por ser o utilizado neste trabalho.

Nesse método, a superfície do molde é devidamente preparada, sendo aplicada três demãos de cera e álcool desmoldante e polida, no qual feltros de fibras enrolados, mechas trançadas, mantas, outros tecidos de fibras ou material particulado são colocados. Impregna-se o molde com resina devidamente preparada, utilizando-se um pincel, e para melhorar o processo de impregnação, são usados rolos de alumínio com o objetivo de eliminar bolhas. O processo continua com a colocação das camadas da fibra até a obtenção da espessura (ou configuração) desejada para a peça. No caso do compósito particulado, deve fazer a homogeneização e despeja-lo direto no molde. O moldado é curado sem calor nem pressão (Figura 15).

Figura 15 – Laminação Manual



Fonte: Adaptado de *Composite Fabrication Method*, 2016

2.4 INFLUÊNCIA DA INTERFACE NAS PROPRIEDADES DOS COMPÓSITOS

A adesão na interface fibra/matriz exerce profunda influência sobre as propriedades do material compósito. Se a interação ocorre via ligação química (e

não somente via ligações hidrogênio, por exemplo), as interações são as mais intensas que se pode esperar. (MORI *et al.*, 2006).

O modelo clássico da micromecânica de reforço em compósitos poliméricos estipula que a interface polímero/reforço seja composta de uma camada restrita fina e rígida, de perfeita adesão interfacial ou com altas forças friccionais entre fibra e matriz, para assegurar uma eficiente transferência de tensão. (PLUEDDEMANN, 1991 *apud* LEÃO, 2009).

As características interfaciais dos materiais compósitos dependem dos aspectos estruturais das vizinhanças e das propriedades físicas e químicas dos constituintes dos compósitos. (RANA *et al.*, 1998; GU *et al.*, 2000).

O desenvolvimento de uma ligação química ou de uma interação de natureza física pode fornecer a adesão desejada entre a fibra e a matriz. Quando essa interação não ocorre com a intensidade necessária, pode-se recorrer ao uso de modificadores. (GAUTHIER *et al.*, 1998; RANA *et al.*, 1998).

Quando a ligação matriz-fibra é fraca pode ocorrer uma diminuição da resistência à oxidação, por se estar facilitando a exposição da fibra, e ainda por se estimular a oxidação no interior do compósito. Nem sempre uma melhoria na adesão promove aumento na resistência do compósito, principalmente com relação ao impacto. (PAIVA *et al.*, 1999a).

2.4.1 Cargas de Enchimento

Carga de enchimento, que pode ser mineral ou natural (vegetal), é o termo designado para definir a utilização e ou produção de materiais compósitos de matrizes termofixas ou termoplásticas ou até mesmo elastômeros na forma de partículas.

Durante muitos anos as cargas de enchimento foram utilizadas nos compósitos com o objetivo de substituir, por motivos de economia a porção mais espessa e mais cara da mistura, ou seja a matriz.

Com os avanços tecnológicos e novas pesquisas, surgiram novas configurações e aplicações para as cargas que ganharam um destaque especial

principalmente por proporcionar melhorias nas qualidades do produto final, mais diretamente nas suas propriedades mecânica.

O desenvolvimento de novos equipamentos e agentes de tratamento superficial tem contribuído bastante para aumentar esta utilização, tanto de cargas minerais e ou naturais. (CALLISTER, 2008).

2.4.1.1 De acordo com Casaril (2004) entre as vantagens, desvantagens e principais características da utilização das cargas de enchimento em um compósito, temos:

Vantagens:

- Reduz a contração e a reação exotérmica durante a polimerização (cura)
- Reduz o coeficiente de dilatação térmica
- Melhora a condutibilidade térmica
- Aumenta o módulo de elasticidade
- Melhora a resistência a abrasão
- Aumenta o módulo de flexão.

Desvantagens:

- Reduz o alongamento a ruptura
- Aumenta a densidade do compósito
- Aumenta a viscosidade da matriz
- Reduz a molhabilidade do reforço
- Reduz a translucidez da matriz polimérica
- Aumenta a ocorrência de bolhas

As principais características observadas em uma carga estrutural são suas propriedades físico-química e suas propriedades mecânicas que terão influência preponderante no desempenho do compósito, dentre as principais podemos elencar:

- Relação de aspecto

- Composição química
- Estrutura cristalina
- Propriedades ópticas
- Dureza
- Densidade
- Brilho
- Granulometria
- Área de superfície
- Absorção de umidade
- Absorção de água etc.

2.5 MATRIZES POLIMÉRICAS

As matrizes mais utilizadas são de polímeros sintéticos. O processamento de um compósito de matriz polimérica não envolve, necessariamente, altas pressões e não requer altas temperaturas. Além disso, os problemas associados com a degradação do reforço durante a manufatura são menos significativos para os compósitos com matrizes poliméricas do que para os compósitos com outras matrizes (metálicas, concreto, etc.).

Ainda, os equipamentos necessários para se obter compósitos com matrizes poliméricas são simples de usar. Por estas razões, os compósitos com matrizes poliméricas se desenvolveram rapidamente e logo se tornaram aceitos para aplicações estruturais (OLIVEIRA, 2007; MATTHEWS e RAWLINGS, 1994 *apud* PAIVA *et al.*, 1999b), não obstante também, já começam a trabalhar com resinas biodegradáveis, principalmente de origem da mamona.

Várias resinas termoplásticas e termofixas vêm sendo utilizadas como matrizes em compósitos. As resinas termofixas mais utilizadas em compósitos de alto desempenho são as fenólicas, epóxis, bimaléimidas e poliamidas. Essas resinas exibem excelente resistência a solventes assim como a altas temperaturas. Estima-se que mais de três quartos de todas as matrizes de compósitos poliméricos sejam constituídas por polímeros termofixos. (MATTHEWS *et al.*, 1994 *apud* PAIVA *et al.*, 1999a).

2.5.1 Matrizes Termofixas

São materiais plásticos que quando curados, com ou sem aquecimento, não podem ser amolecidos por um próximo aquecimento; as matérias-primas para os termofixos são resinas oligoméricas, ainda termoplástica, que na moldagem em produtos, são curadas e transformadas em termofixos insolúveis; estruturalmente, os termofixos têm como componentes fundamentais polímeros com cadeias moleculares contendo muitas ligações químicas primárias entre as cadeias diferentes – ligações cruzadas – que geram o comportamento dos termofixos, que podem também ser chamados polímeros reticulados ou polímeros com muitas ligações cruzadas.

Os termofixos, quando for necessário, podem conter aditivos e podem ter aplicações como plásticos de engenharia, como é o caso dos poliésteres insaturados reforçados com fibras de vidro; exemplos de matérias-primas para os plásticos termofixos: resina fenólica, resina ureia-formaldeído, resina melanina-formaldeído, resina epóxi e resina de poliéster insaturado; podem ser empregados como sinônimos de termofixos, os termos termorrígidos e termo endureciam; ver cura, oligômero, plástico, polímero e resina. (BRASKEM. **Boletim técnico nº 08 PVC**).

2.5.2 Matrizes Termoplásticas

São polímeros capazes de ser repetidamente amolecidos pelo aumento da temperatura e endurecidos pela diminuição da temperatura. Esta alteração reversível é física e não química, mas pode provocar alguma degradação no termoplástico, para um número elevado de ciclos de aquecimento e de resfriamento; estruturalmente, os componentes fundamentais dos termoplásticos são polímeros com cadeias lineares ou ramificadas, sem ligações cruzadas, isto é, entre as cadeias poliméricas diferentes só existem interações intermoleculares secundárias, reversíveis com a temperatura.

Os termoplásticos podem ser: convencionais (ou de grande uso), especiais ou de engenharia; os termoplásticos convencionais (ou de grande uso) são: polietileno de baixa densidade, polietileno de alta densidade, polipropileno, poli (cloreto de

vinila) e o poliestireno; entre os termoplásticos especiais se destacam o poli (metacrilato de metila) e o poli (tetraflúor-etileno); os principais termoplásticos de engenharia são: náilons, policarbonatos, poli acetais, poliésteres termoplásticos, ABS (graus de engenharia), poli (óxido de fenileno) modificado com poliestireno, polissulfonas, poli (sulfeto de fenileno) e poli (éter-éter-cetona); os termoplásticos, quando for necessário, podem conter aditivos; ver plásticos e polímero.(BRASKEM. **Boletim técnico nº 08 PVC**).

2.6 MATERIAIS PARTICULADOS

É um material muito fino e que apresenta grande área superficial e tende a favorecer a formação de aglomerados e sofre as influências das facas de capilaridade, da rugosidade superficial.

2.6.1 Fragmentação de Sólidos

Segundo Gomide (1997) e Earle e Earle (1983), está é uma operação unitária que tem por objetivo reduzir o tamanho dos fragmentos de determinado material (matéria-prima ou produto final). Também é usado o termo cominuição para redução de tamanho e inclui processos como esmagar, moer, picar, porcionar (*dicing*), entre outros.

A moagem é uma operação que pode ser realizada a seco ou a úmido, esta última facilita um melhor controle de pó e consome menos energia, além de ser menos poluente. Sabe-se que uma pequeníssima parte da energia total fornecida à máquina, de 0,1 a 2%, é utilizada para fraturar o material, quase toda a energia é dissipada pelo aquecimento do material que pode acarretar a fusão ou decomposição do material.

Este processo pode ter as seguintes finalidades:

- Aumentar as superfícies: (reações químicas; extração; secagem);
- Diminuir o tamanho para separar dois ou mais constituintes;

- Modificar propriedades de um material: Ex: reatividade química; cor (intensidade); especificação de produtos comerciais;
- Mistura mais íntima entre dois sólidos: Ex: produtos farmacêuticos em pó;
- Auxiliar em outras etapas de utilização do produto.

A redução de tamanho pode ajudar outros processos, como o de compressão ou o de extração e pode diminuir o tempo em processos de tratamentos de calor, como branqueando e cocção.

2.6.2 Mecanismos de Redução de Tamanho

São operações extremamente complexas. Os sólidos podem sofrer redução de tamanho através de vários tipos de solicitações, dos quais quatro são utilizados industrialmente:

- Compressão;
- Impacto;
- Atrito (abrasão);
- Corte e/ou dilaceramento.

Os equipamentos podem funcionar empregando um ou mais tipos de atuação da força simultaneamente.

Existe uma grande variedade de equipamentos que podem ser classificados de acordo com o tamanho das partículas de alimentação e do produto.

- Britadores: fragmentação de partículas de tamanho grande para médio;
- Trituradores: para partículas de tamanhos médios;
- Moinhos: redução de partículas médias a pós finos.

O consumo de energia destes equipamentos está relacionado com a estrutura interna do material.

Segundo Gomide (1997) em termos de tamanhos os sólidos podem ser classificados como:

- Pós → Partículas de 1 μm até 0,5 mm
- Sólidos granulares → Partículas de 0,5 a 10 mm
- Blocos pequenos → Partículas de 1 a 5 cm.
- Blocos médios → Partículas de 5 a 15 cm.
- Blocos grandes → Partículas > 15 cm.

2.6.2.1 Escalas Granulométricas

A determinação das faixas de tamanho das partículas é feita por meio de uma série de aberturas de peneiras que mantêm entre si uma relação constante.

2.6.2.2 Tipos de Equipamentos

Os equipamentos utilizados no peneiramento podem ser divididos em três tipos (Gomide ,1997):

- grelhas – constituídas por barras metálicas dispostas paralelamente, mantendo um espaçamento regular entre si;
- crivos - formados por chapas metálicas planas ou curvas, perfuradas por um sistema de furos de várias formas e dimensão determinada;
- telas - constituídas por fios metálicos trançados geralmente em duas direções ortogonais, de forma a deixarem entre si "malhas" ou "aberturas" de dimensões determinadas, podendo estas serem quadradas ou retangulares.

2.7 ENSAIOS DE CARACTERIZAÇÃO

As propriedades físicas não envolvem modificações estruturais das moléculas dos compósitos. São propriedades físicas as características mecânicas, termofísicas, elétricas e ópticas, porém no estudo proposto serão avaliadas apenas as características mecânicas, termofísicas e densidade aparente.

Segundo Brown *et. al* (2005) uma propriedade física tem a característica de

poder ser medida ou observada sem que a composição ou integridade da substância respectiva seja afetada.

Influenciam nas propriedades mecânicas dos compósitos ou das matrizes poliméricas fatores como o grau de cristalinidade, grau de polimerização e grau de reticulação do polímero. (CASTRO, 2003).

Outros fatores também importantes são a resistência química e características na região de interface entre os constituintes do compósito são muito importantes e determinam o desempenho químico e mecânicos dos compósitos. (FONTOURA, 2009).

2.7.1 Propriedades Mecânicas

Para levantamento das características mecânicas do compósito foi realizado os ensaios de tração, flexão e impacto.

O ensaio de tração consiste em aplicar uma força longitudinal nas extremidades do corpo de prova até que o mesmo se rompa.

Nos materiais compósitos o comportamento do reforço ou carga exerce uma função bastante relevante com relação às propriedades do material. Isto porque a quantidade proporcional desta carga, afeta diretamente a distribuição das tensões internas do material que é transferida da matriz para o reforço. Diferentemente das fibras que depende do seu comprimento e de sua disposição no compósito.

Entretanto, as fibras rompem somente se a deformação aplicada ao material compósito for suficientemente alta, de tal forma que passe a apresentar uma deformação semelhante às das próprias fibras, porém a resina assume um papel relevante no alongamento, pois é nela que ocorre o início da fissura do laminado e as fibras possuem capacidade de resistir aos esforços. (FELIPE, 1997).

As propriedades dos materiais compósitos particulados dependem dos aspectos micro estruturais dos componentes, sua morfologia e diâmetro estão diretamente ligados as suas propriedades e seus percentuais. Com isto, qualquer variação destes aspectos provocará uma mudança nas propriedades do material.

Os resultados fornecidos por este ensaio são fortemente influenciados pela temperatura, pela velocidade do ensaio, pela anisotropia do material, pelo tamanho

do grão e pela impureza do material. (GARCIA, 2008). Dentre todos os ensaios este é um dos mais utilizados por possuir um baixo grau de dificuldade para sua execução, obtendo-se uma curva tensão deformação que após ser analisada obtêm-se os resultados do ensaio.

Os valores e suas representações dependem do tamanho da amostra a ser testada, pois a carga aplicada para o alongamento será determinada através disso.

Para minimizar esses fatores geométricos, a carga e o alongamento são normalizados de acordo com os seus respectivos parâmetros de tensão e deformação.

Para cálculo das características mecânicas, as Equações 1 e 2 serão utilizadas. Para cálculo da tensão de ruptura ou limite de resistência a tração utilizou-se a Equação 1, e a Equação 2 para cálculo do módulo Young. (CALLISTER, 2012).

$$\sigma = \frac{F_{max}}{A_o} \quad (1)$$

Onde:

σ = Limite de resistência à tração (MPa)

F_{max} = força máxima aplicada. (N)

A_o = Área inicial (mm²)

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon} \quad (2)$$

Onde:

E = módulo de Young em (MPa) ou (N mm⁻²);

σ = Tensão aplicada medida em (Pa) ou (N m⁻²),

ε = Deformação elástica longitudinal do corpo de prova (adimensional).

No ensaio de flexão, aplica-se uma força crescente em um corpo de prova apoiada em dois pontos equidistantes até que o mesmo frature. A carga aplicada parte de um valor inicial igual a zero e aumenta lentamente até a ruptura do CPL. O ensaio de flexão é utilizado principalmente para avaliar propriedades mecânicas de materiais frágeis dúcteis: são analisadas as tensões internas, na fase elástica, isto é, quando o material submetido a um esforço apresenta a capacidade de absorver

energia ocorrendo um desarranjo em sua estrutura interna e devolve esta energia ao meio, retornando naturalmente na forma inicial em que se encontrava.

Um dos ensaios mais utilizados na caracterização de compósitos é o ensaio de flexão em três pontos, que consiste na aplicação de uma carga no centro de um corpo de prova específico, padronizado e apoiado em dois pontos. A carga aplicada aumenta lentamente até a ruptura do corpo de prova. O valor da carga aplicada versus o deslocamento do ponto central é a resposta do ensaio. Os principais resultados do ensaio de flexão são: módulo de elasticidade, tensão e flexão e deflexão máxima.

As propriedades como resistência máxima a flexão, alongamento total e módulo Young na flexão também serão analisadas. Para tanto a Equação 3 será utilizada para cálculo da tensão de ruptura ou resistência a flexão, sendo a Equação 4 aplicada para cálculo do módulo Young na flexão ou módulo de elasticidade (CALLISTER, 2012).

$$V = \frac{3PL}{2bh^2} \quad (3)$$

Onde:

V = Resistência a Flexão (MPa)

P = Carga máxima aplicada em Pascal ou $N\ m^{-2}$;

L = distância entre os pontos de apoio em centímetro (cm);

$2bh^2$ = largura e espessura dos corpos de prova em milímetro (mm).

$$E = \frac{ml^3}{4bd^3} \quad (4)$$

Onde:

E = módulo de elasticidade (GPa)

m = Carga máxima aplicada em pascal ou $N\ m^{-2}$;

l = distância entre os pontos de apoio em centímetro (cm);

b e d = largura e espessura dos corpos de prova em milímetro (mm).

No ensaio de tração e flexão também se obtém o módulo de elasticidade na tração e módulo de elasticidade na flexão, através destas características é possível se fazer uma relação com a dureza e tenacidade do material.

O ensaio de impacto é aplicado uma força repentina e concentrada (força de impacto) em um corpo de prova a fim de se promover seu rompimento ou quebra.

O ensaio de impacto é um dos ensaios que permite avaliar os efeitos de cargas dinâmicas sobre o compósito ou qualquer outro material (Equação 5). O impacto é considerado um esforço de natureza dinâmica, isso porque a energia é aplicada de maneira súbita. Logo, a força com que o impacto é aplicado gera uma energia de ensaio que é medida em Joule (J). (CALLISTER, 2012).

Por meio do ensaio de impacto foi possível estudar os efeitos de cargas com características dinâmicas para os eco-compósitos, sendo possível quantificar a influência da adição de resíduo ao compósito promoveu o aumento da fragilidade do material estudado.

$$E = m \cdot g \cdot h \quad (5)$$

Onde:

E = energia (J)

m = massa do torpedo (Kg)

g = aceleração gravidade (m/s)

h = altura (m)

No ensaio de impacto uma força de choque de valor conhecido é aplicado sobre uma amostra do material para que seja medida a quantidade de energia necessária para seu rompimento. O desempenho do compósito durante o ensaio de impacto é influenciado pela natureza dos constituintes, interface fibra-matriz e as condições de realização dos testes. (RAZERA, 2006).

A fratura do material durante o ensaio ocorre por rompimento da matriz, deslocamento e arranque de fibras, chamado de "*pull-out*". O "*pull-out*" é um importante mecanismo de dissipação/concentração de energia compósito reforçado com fibras. (RAZERA, 2006).

2.7.2 Propriedades Térmofísicas

De acordo com Giglio (2005, f. 19) "A análise do desempenho térmico de sistemas construtivos está vinculada ao conhecimento das propriedades térmicas de

seus elementos, os quais podem ser definidos pela condutividade térmica, densidade de massa aparente e pelo calor específico.” As condutibilidades térmicas para a maioria dos polímeros estão na ordem de $0,3 \text{ W.m}^{-1} \text{ K}$.

Para os materiais poliméricos a transferência de energia é realizada através da vibração e da rotação das moléculas da cadeia polimérica. A resistência térmica e condutividade térmica dos poliméricos estão relacionadas fortemente com o desempenho térmico do material e com o grau de Cristalinidade deste material.

Quanto mais ortoftálico o material se apresentar, maior será sua condutividade térmica tendo em vista que, a vibração das moléculas ocorrerá de forma coordenada e mais efetiva entre as cadeias moleculares. (CALLISTER, 2012).

Verificaram-se as propriedades termofísicas: condutividade térmica, o calor específico, a resistência térmica e a difusividade, tanto das matrizes utilizadas, quanto dos compósitos proposto. Essas propriedades são observadas quando o calor é adicionado e removido de um material.

2.7.2.1 Condutividade Térmica

A condutividade térmica é uma característica específica de cada material e, caracteriza-se pela capacidade de um material em transferir calor de um ponto onde sua temperatura é maior, para outro ponto onde sua temperatura é menor.

A lei básica da condução de calor é baseada nos experimentos de Fourier como descrito por Kreith e Bohn (2003), e a partir dela a condutividade térmica (Equação 6) é definida como:

$$K = - \frac{qk/A}{|dt/dx|} \quad (6)$$

Onde:

K: Condutividade térmica do material $[\text{W}/(\text{m.K})]$

qk: Fluxo de calor (W)

A: Área perpendicular ao fluxo de calor (m^2)

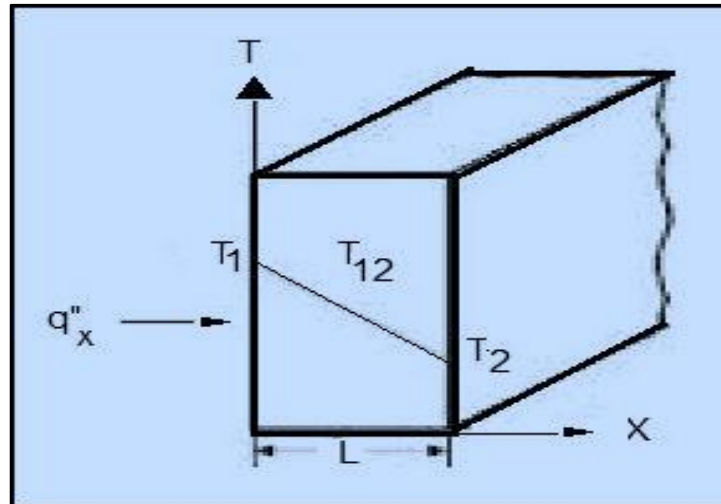
dt: Temperatura ($^{\circ}\text{C}$ ou K)

dx: Comprimento que atravessa o fluxo de calor (m)

Expressa a menor ou maior capacidade do material em conduzir o calor. A

distribuição de temperatura em uma parede é mostrada na Figura 16.

Figura 16 - Transferência de calor unidimensional em paredes planas



Fonte: Santos, 2006.

Quanto maior a condutividade térmica de um material maior será sua capacidade de transferir calor entre suas moléculas, então esse material terá uma característica de condutor térmico.

Os materiais com baixa condutividade, ou baixa capacidade de transferência de calor entre suas moléculas, possuem características de material isolante térmico. Exemplo de material bom condutor térmico são os metais de maneira geral, e de mau condutor térmico o isopor e a madeira.

2.7.2.2 Resistência Térmica

A resistência térmica (R_t) de uma matéria depende de sua espessura e condutividade térmica, conforme indicado na Equação 7. (KREITH e BOHN, 2003).

$$R_t = \frac{\Delta x}{K} \quad (7)$$

Onde:

R_t = Resistência Térmica ($^{\circ}\text{C.m/w}$)

Δx = Espessura do material (m);

K = Condutividade térmica (w / mK).

A vantagem de se trabalhar com a resistência térmica ao invés da condutividade térmica é que, no caso do fluxo de energia por condução por um sistema composto por diferentes camadas em série, as resistências das camadas podem ser somadas para se encontrar a resistência total.

2.7.2.3 Calor Específico

O calor específico é a capacidade de um material em armazenar calor é medido pelo calor específico, conforme Equação 8. (KREITH e BOHN, 2003).

$$C = \frac{Q}{\Delta t} \quad (8)$$

Onde:

C = Calor específico (Mj/m³k)

Q = Quantidade de energia fornecida (Mk)

Δt = Acréscimo de temperatura em (°C)

2.7.2.4 Difusividade Térmica

A difusividade térmica é uma propriedade que depende, por um lado, da condutividade (K) ou da velocidade de condução da energia térmica no interior do material e, por outro lado, do calor específico volumétrico (μ) ou da quantidade de energia térmica necessária para aumentar a temperatura de determinado volume do material.

A difusividade é uma variável mais importante para o controle térmico das construções do que a condutividade (K), porque expressa quão rapidamente um corpo se ajusta por inteiro à temperatura de seu entorno. Materiais de baixa difusividade retardam a transferência de variações externas de temperatura para o interior das construções, por exemplo.

Obtém-se a difusividade (A) dividindo a condutividade (K) pelo calor específico volumétrico (μ) cuja unidade é m²/s⁻¹, conforme Equação 9. (KREITH e BOHN, 2003).

$$A = \frac{K}{\mu} \quad (9)$$

Onde:

A = Difusividade (mm²/s)

K = Condutividade térmica (w/mk)

μ = Calor Específico volumétrico (m³/s⁻¹)

2.8 DENSIDADE APARENTE

A relação entre a massa da amostra de um material ou substância e o volume por ela ocupado chama-se densidade. A densidade é representada pela Equação 10 *American Society for Testing and Materials* (ASTM D792-08).

$$\rho = \frac{m}{V} \quad (10)$$

Onde:

ρ = densidade aparente (g/cm³)

m = massa (g)

v = volume (cm³)

A importância da verificação da densidade visa indicar ao projetista quanto ao peso da peça fabricada nas dimensões reais para a aplicação no projeto. Em alguns casos a densidade pode indicar o grau de Cristalinidade do material.

2.9 PESO ESPECÍFICO

O conhecimento do peso específico das cargas é importante do ponto de vista econômico. Pois dependendo deste, podemos empregar mais ou menos carga influenciando diretamente o custo final do produto e é calculado pela Equação 11.

$$\rho = \frac{P}{V - v} \quad (11)$$

Onde:

ρ = peso específico (g)

P = peso da amostra (g)

V = volume do frasco (ml)

v = peso total (g)

2.10 ABSORÇÃO DE ÁGUA

A absorção de água (AA) pela exposição de matrizes orgânicas de materiais compósitos em atmosfera úmida ou meio aquoso leva à degradação prematura pela penetração de água no interior do material compósito. (POTHAN *apud* RAZERA, 2006).

Como consequência temos o aumento de volume, degradação da estrutura molecular por hidrólise, aparecimento de trincas e perda de adesão fibra/matriz, causando gradual perda nas propriedades mecânicas. (SANTOS, 2006).

O mecanismo de AA pelos compósitos poliméricos é por dissolução de água em sua estrutura polimérica, penetração em microtrincas onde essa água é armazenada. (GEORGE, SREEKALA e THOMAS, 2001).

O nível ou grau de AA por polímeros termoplásticos pode ser interferido pelo grau de cristalinidade da matriz polimérica ortoftálica. (GEORGE, SREEKALA e THOMAS, 2001).

O grau de AA em termos relativos pode ser obtido pelo quociente entre a massa final do material após a imersão e a massa inicial antes da imersão subtraído de uma unidade.

Para obtenção deste valor em porcentagem basta multiplicar o resultado por cem. A Equação 12 representa o grau de AA por um material.

$$AA = \left(\frac{m_f}{m_i} - 1\right) \times 100 \quad (12)$$

Onde:

AA: absorção de água (g)

m_i = massa inicial (g)

m_f = massa final (g)

Para cálculo do erro de medição no ensaio de AA a Equação 13 foi utilizada.

$$\Delta AA = 1 + \frac{m_f}{m_i} + \frac{\Delta m}{m_i} \quad (13)$$

Onde:

ΔAA : Variação na AA (g);

m_i = massa inicial (g);

m_f = massa final (g).

Δm = Variação de massa (g).

2.11 ÍNDICE DE CRISTALINIDADE

O índice de cristalinidade de um material é uma propriedade química definida através da análise por difração de Raio-X ou simplesmente DRX. O índice de cristalinidade indica a quantidade de celulose que se encontra em estado ortoftálico, sendo um dos fatores para determinar as propriedades mecânicas dos materiais ligno-celulósicos. (ABREU *et al.*, 2009).

Através dos índices de Cristalinidade obtidos em ensaio de difração por Raio-X é possível se inferir a variação da densidade de um material uma vez que quanto maior a cristalinidade do material menos espaços vazios ele terá, e como consequência maior será sua densidade (LION FILHO, 2013). Quando ocorre a redução do índice de cristalinidade de um polímero significa que houve acréscimo na parcela amorfa deste material, o que o torna mais susceptível a permeação de água. (ROSA *et. al.* 2002).

O índice de cristalinidade define a estrutura de um material. Para polímeros ela é determinada pela forma de suas moléculas, a simetria, ramificações, rigidez e regularidades de processamento. (UNGARI, 1999).

O índice de cristalinidade é um parâmetro importante quando se avalia a resistência mecânica de um material, pois quanto mais ortoftálico o material, maior será sua resistência mecânica. (LION FILHO, 2013).

Utilizando a análise de difração de raios-x (DRX) é possível determinar o nível de cristalinidade do compósito. Geralmente essa técnica é massivamente aplicada a compósitos inorgânicos e minerais, porém como existe a possibilidade da formação de cristais nos polímeros e nas macromoléculas tal técnica pode ser aplicada. Quanto mais ortoftálico o material mais denso ele se apresenta, pois possui menos espaços vazios. (OLIVEIRA NETO, 2012).

Os difratogramas foram obtidos à temperatura ambiente em difratômetro de

Raios-X modelo Shimadzu modelo XRD-7000 apresentado na Figura 18 usando radiação Cu K α ($\lambda = 0,15418$ nm; $I = 30$ mA; $V = 40$ kV) no intervalo de 2θ variando de 5° a 90° e passo de 2°min^{-1} .

A Equação 14 foi utilizada para o cálculo do grau de cristalinidade, baseado no Método Relativo (RABIEJ, 1991). A mesma Equação foi utilizada por Segal nas suas experiências para avaliar o índice de Cristalinidade de fibras celulósicas vegetais. (LION FILHO, 2013).

$$I_c = \frac{I(cr) - I(am)}{I(cr)} \times 100 \quad (14)$$

Onde:

I_c = Índice de Cristalinidade (%);

I_{cr} = Pico de intensidade de difração que representa o material ortoftálico (eixo y);

I_{am} = Pico de intensidade de difração que representa o material amorfo (eixo x).

A cristalinidade influencia em algumas propriedades dos materiais tais como: densidade, perda de transparência, maior resistência a solventes, temperatura de fusão e melhora as propriedades mecânicas. Nas regiões ortoftálicas, existe grande número de ligações secundárias entre os segmentos de cadeias adjacentes tendo como consequência, o aumento significativo do módulo de tração para os polímeros semiortoftálicinos com o incremento no grau de cristalinidade. (SILVA, 2009).

A Tabela 04 apresenta valores típicos encontrados de índice de Cristalinidade de algumas fibras naturais.

Tabela 04 - Índice de Cristalinidade de algumas fibras naturais

Fibra	Índice de Cristalinidade (%)
Licuri	45,45
Borra de Piaçava	39,80
Coco	33,73
Sisal	32,30
Dendê	25,67

Fonte: Santos, 2006 (adaptado).

Conforme apresentado na Tabela 04 a fibra de Licuri apresenta o maior índice de cristalinidade entre os materiais lignocelulosicos apresentados, tendo seu valor médio de 45%. No entanto a fibra do dendê apresenta índice de cristalinidade em torno de 40% inferior a fibra da piaçava.

2.12 POTENCIAL HIDROGENIÔNICO (pH) DO EMLI

O pH indica o índice de acidez ou alcalinidade de uma substância. Esta propriedade química interfere diretamente no processo de cristalização da matriz poliéster ortoftálica.

Substâncias consideradas ácidas apresentam elevada quantidade de íons de hidrogênio dissociados em soluções geralmente aquosas e seu pH é considerado baixo. Substâncias que apresentam pH elevado apresentam elevada quantidade de hidroxila OH^- dissociados em soluções geralmente aquosas.

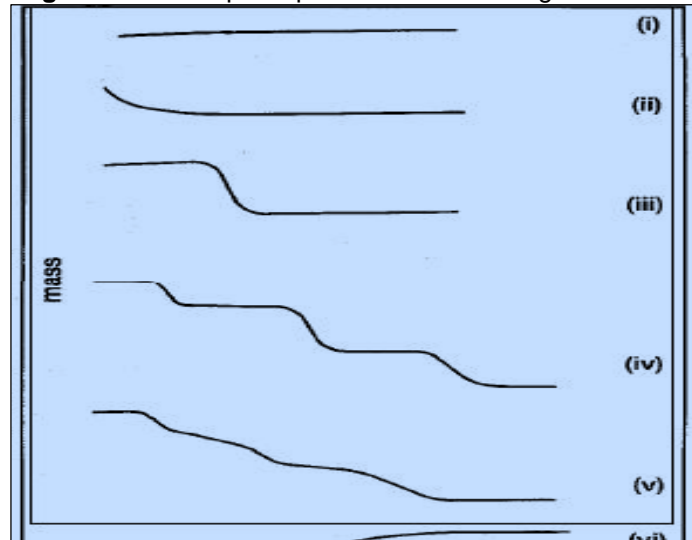
Os valores de pH variam entre 0 e 14 e são medidos por aparelhos chamados de Phmetro. As soluções podem ser classificadas quanto ao pH em:

- Substâncias ácidas – apresentam pH na faixa entre 0 e 7;
- Substâncias alcalinas – apresentam pH na faixa entre 7 e 14;
- Substâncias neutras – apresentam pH 7.

2.13 ANÁLISE TERMOGRAVIMÉTRICA (TGA)

O ensaio TGA consiste em uma análise térmica onde as propriedades físicas e químicas de um material são analisadas em função da variação de temperatura pré-programada. Essa variação ocorre numa faixa de crescimento constante. Para não causar confusão entre a temperatura de transição vítrea (T_g) e análise termogravimétrica (TGA), é comum para materiais poliméricos utilizar a sigla TGA.

A Figura 17 apresenta as principais formas das curvas termogravimétricas geradas por uma amostra analisada em ensaio de TGA.

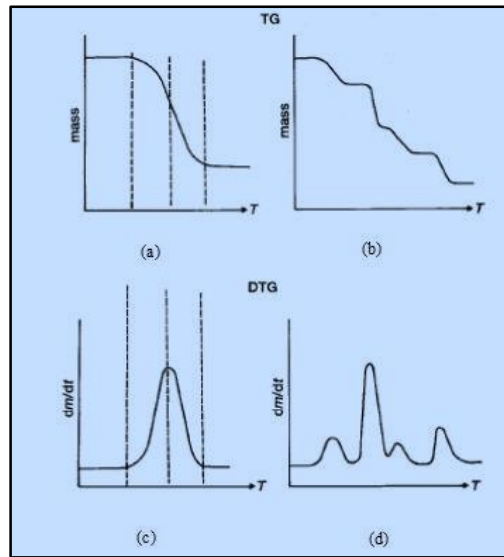
Figura 17 - Principais tipos de curvas termogravimétricas

Fonte: Callister, 2012.

As curvas termogravimétricas na Figura 17 apresentam as seguintes características:

- I. Caracteriza um composto ou substância que não apresenta variação de massa para a faixa de temperatura analisada;
- II. Representa o comportamento de uma amostra que geralmente ou apresentou evaporação de compostos voláteis ou houve evaporação de água constatada pela rápida perda inicial de massa;
- III. A rápida perda de massa caracteriza a decomposição da amostra analisada em apenas um estágio;
- IV. Semelhante à descrição acima, porém em vários estágios;
- V. Assemelha-se a curva anterior caso se diminua a velocidade de aumento na temperatura do ensaio.

Para facilitar a interpretação dos resultados nos gráficos termogravimétricos apresentados na Figura 18 (a) (b), pode-se obter a derivada da curva TGA analisada, Figura 18 (c e d), em função da temperatura chamada de curva DTG. Neste gráfico as perdas de massa serão apresentadas em forma de picos, e estes terão amplitudes correspondentes ao grau de variação da massa da amostra analisada, ou seja, o pico corresponde ao ponto máximo de variação de massa.

Figura 18 - Comparação entre as curvas TG e DTG

Fonte: Callister, 2012

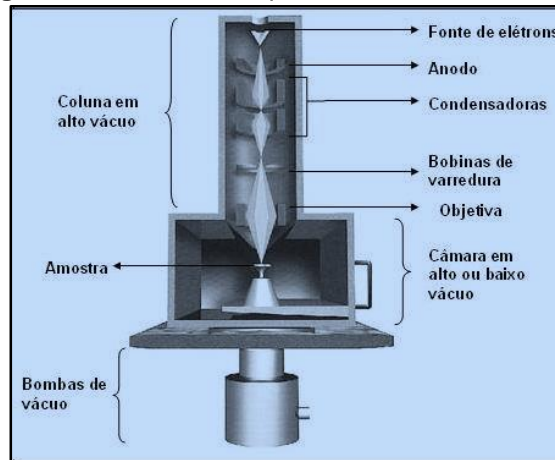
Outra vantagem da curva DTG é a visualização de reações sobrepostas. Como se observa na Figura 18 (b), as variações de massa pode ser visualizadas de maneira clara e os pontos de temperatura podem ser observados.

2.14 MICROSCOPIA ELETRÔNICA DE VARREDURA (MEV)

A principal função do microscópio é tornar visível ao olho humano estruturas, organismos e superfícies com dimensões microscópicas. Os microscópios podem ser do tipo óptico e eletrônico. Os microscópios ópticos apresentam ampliação máxima de 2.000 vezes e seu princípio de funcionamento se baseia na incidência de luz visível ou ultravioleta sobre a amostra a ser analisada, e quando refletida é projetada em lentes que ampliam estas imagens. (KESTEMNBACH, H.; BOTA FILHO, 1994).

O microscópio eletrônico por varredura (MEV) se baseia na incidência de feixes de elétrons em substituição a luz visível ou ultravioleta como nos microscópios ópticos. Os elétrons emitidos quando refletidos são captados por detectores que convertem o sinal em imagem em altíssima resolução, obtendo também ampliações até 300.000 vezes. (KESTEMNBACH, H.; BOTA FILHO, 1994). A Figura 19 apresenta uma amostra em análise em um MEV.

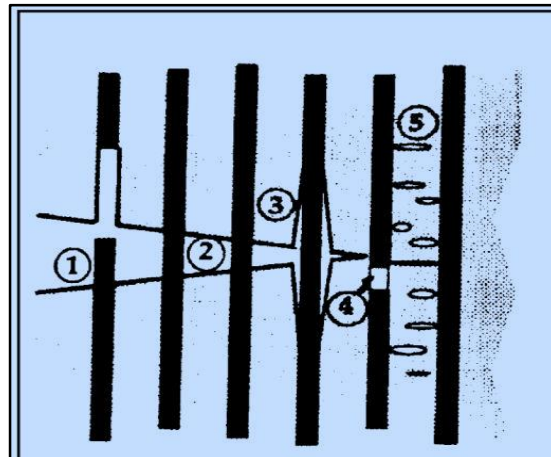
Figura 19 - Desenho esquemático da coluna do MEV



Fonte: Laboratório de Filmes Finos, 2015

O MEV é uma ferramenta importante para o estudo do mecanismo de dano, com esta ferramenta é possível identificar a interação e adesão entre fibra matriz (MARINUCCI, 2001). Os principais mecanismos de danos ou falhas podem ser observados na Figura 20:

Figura 20 - Mecanismos de falhas em compósitos: (1) “pull-out”; (2) deslizamento da fibra; (3) descolamento; (4) falha da fibra e (5) falha da matriz



Fonte: Rodrigues, 2007

Os números de 1 a 4 indicam os tipos de falhas que podem ocorrer em compósitos. Vê-se na Figura 21 a quebra de fibra de vidro em microscópio óptico.

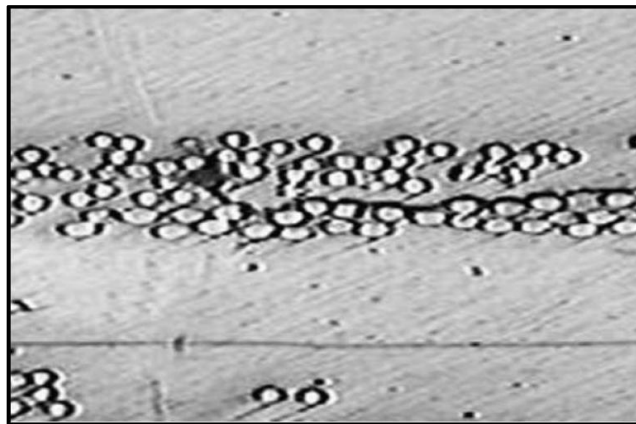
Figura 21 - Quebra da fibra de vidro observada em microscópio óptico



Fonte: Rodrigues, 2007.

Deslizamento da fibra, neste mecanismo de falha ocorre o rompimento da matriz polimérica sendo a carga transferida e sustentada pela fibra. Observa-se na Figura 22 indicada pelo número 2 o mecanismo de falha em questão.

Figura 22 - Fratura adesiva fibra matriz observada em microscópio óptico

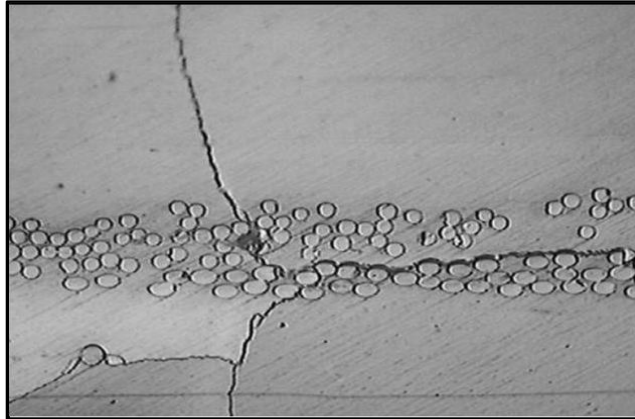


Fonte: Rodrigues, 2007.

Desaderência entre fibra e matriz ocorrida pela falta de aderência entre fibra e matriz, também conhecida como fratura adesiva, sendo indicada pelo número 3.

A Fissura ou falha na matriz também conhecida como fissura coesiva ou de ligação na matriz. São fendas ou rachaduras que ocorrem apenas na matriz do compósito conforme e Figura 23 indicada pelo número 5.

Figura 23 - Fissura na matriz polimérica observada em microscópio óptico



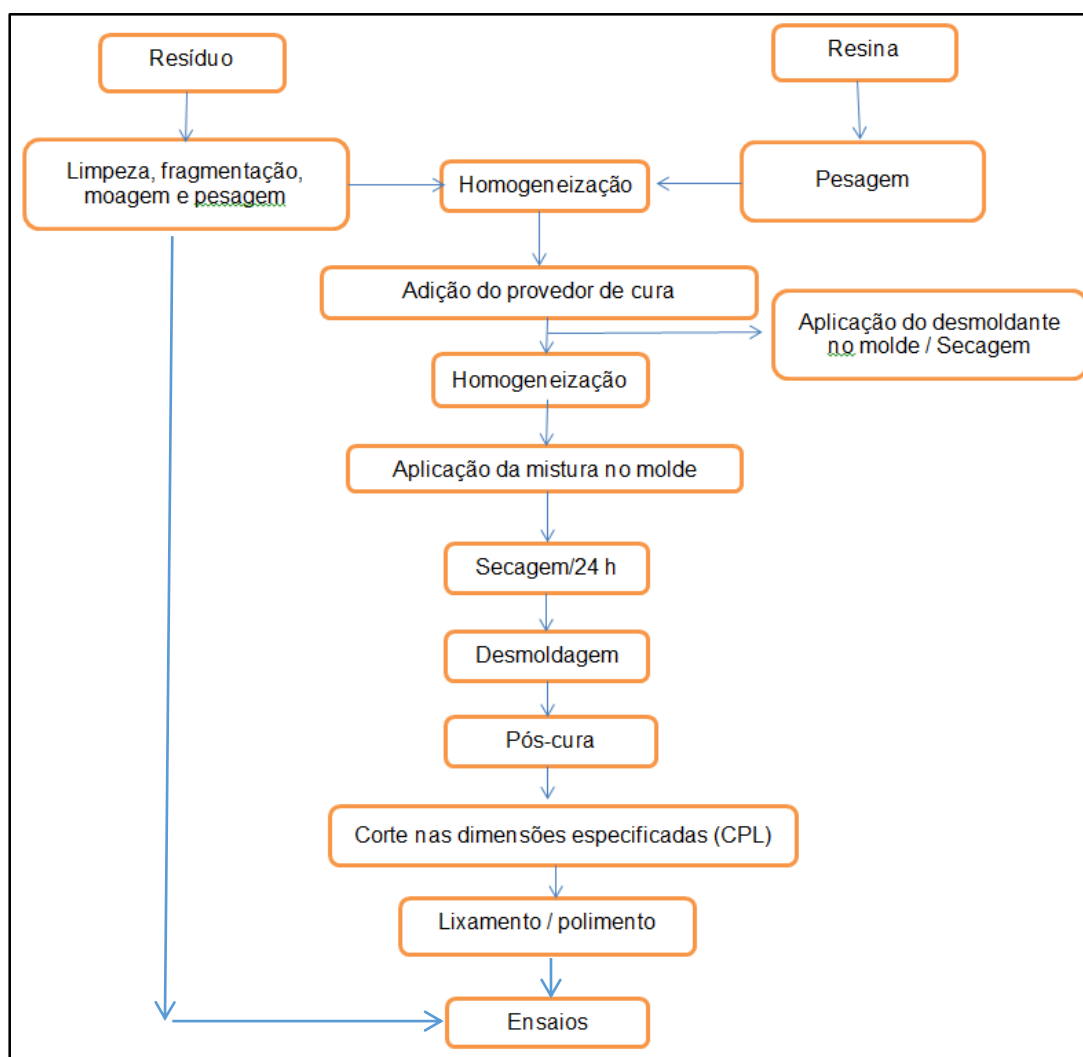
Fonte: Rodrigues, 2007.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

Neste capítulo apresentamos a descrição dos materiais utilizados, o processo de fabricação do compósito e das peças propostas e a metodologia de identificação das propriedades do EMLI e do compósito assim como das diversas peças. Esta metodologia envolveu a análise micro estrutural, análise térmica, ensaios mecânicos, densidade aparente, AA e índice de cristalinidade entre outros.

As etapas do processo de beneficiamento do EMLI e produção do compósito estão apresentados no fluxograma abaixo (Figura 24):

Figura 24 – Fluxograma de Preparação do compósito



3.1 MATERIAIS

3.1.1 Resíduo do licuri - EMLI

A Figura 25, a seguir, mostra um licurizeiro com o seu cacho de frutos onde é aproveitado a amêndoa na fabricação de barras de cereais, licores, óleos, leite, cocada.

Figura 25 – Licurizeiro com cacho de frutos



A extração das amêndoas do licuri tem como rejeito as cascas dos frutos quebrada de tamanhos variados, que são descartado sem nenhuma preocupação com os seus possíveis impactos ambientais.

Tais resíduos ou casca só tem utilidade em queima de fornos artesanais, pois as cinzas petrificam dificultando a limpeza (Figura 26 a e b).

Ao receber este resíduo oriundo dos municípios de Caldeirão Grande e Mairi, no semi-árido baiano, procedeu-se o seu beneficiamento para utilizá-lo como matéria prima deste trabalho de pesquisa (Figura 27).

Figura 26– Exocarpo de licuri seco (a) e úmido (b)



Figura 27 – Exocarpo do licuri moído (EMLI)

3.1.2 Resina Poliéster Ortoftálica (RPO)

Foi utilizada a resina padrão da família AZ 1.0 de fabricação da ARA QUIMICA S/A, aceita como produtos modificadores, corantes na forma pura ou pigmentos na forma de pastas de poliéster não reativo, monômero de estireno como diluente, absorvedores de raios UV, promotores ou inibidores especiais para acelerar ou retardar a cura, agentes tixotrópicos e outros. Há necessidade de testes para identificar o grau de aceitação de cada um desses aditivos. Certamente, a adição deles afeta as características da resina padrão.

A facilidade de manuseio durante a preparação da resina e preparação das peças e do compósito, assim como seu baixo custo foi preponderante para sua escolha como matriz, outro fator relevante é a facilidade de trabalho sem grandes riscos além de não necessitar de equipamentos sofisticados. Todos os dados acima foram extraídos da ficha técnica da resina fornecido pelo fabricante.

A Tabela 05 abaixo mostra as propriedades da RPO Arazen - AZ 1.0.

Tabela 05 - Propriedades da RPO Arazen - AZ 1.0

Propriedades	Valores	Normas – ASTM
Resistência a tração	57,0 MPa	D - 638
Modulo de tração	1970 MPa	D - 638
Alongamento	3,2%	D - 638
Resistência a flexão	84,0 MPa	D - 790
Modulo da flexão	2,81 GPa	D - 790
Dureza Barcol	35-40 B	D- 2583
Tempo Gel	10- 20 mim	-

Fonte: Ficha técnica do fabricante

3.1.3 Catalizador ou provedor de cura

O que muitas vezes é chamado de catalizador, na verdade é um peróxido de metil-etil-cetona ou dimetilftalato ou provedor ou iniciador de cura para RPO, no experimento utilizamos um catalizador MEK-P, Marca registrada da Ara Química S. A, Sistema de Cura: 1,0 g MEK-P em 100 g de resina, seguido de pós-cura de 2 horas à 80 °C. A escolha do teor de MEK-P está diretamente ligada à espessura e volume da peça, bem como à temperatura ambiente.

3.1.4 Desmoldante

Foi utilizado como desmoldante a cera de carnaúba marca *Fiberglass*, que além de dar um acabamento melhor as peças, facilita a retirada das placas do molde. (Figura 28).

Para garantir que a aplicação da cera tenha um bom resultado devemos ter uma atenção especial aos cantos e lado de contato da resina, sendo necessárias três demãos seguido de polimentos, respeitando o tempo de secagem de aproximadamente quinze minutos entre demão.

Figura 28 – Cera desmoldante



3.1.5 Molde

Para fabricação das placas de compósito de onde serão feitos os CPL, foi confeccionado um molde de granito com as dimensões de 300 mm x 300 mm x 10 mm. (Figura 29).

Figura 29 – Molde de Granito

3.2 OBTENÇÃO DO EMLI

As cascas do licuri oriundas de Caldeirão Grande e Mairi passam por um processo de limpeza manual para retirada das fibras curtas que foram descartadas e em seguida lava-se com água corrente para se retirar as impurezas sólidas e ferve-se por 30 minutos para ajudar a retirar a cera deixando secar ao sol por no mínimo 48 horas. Depois lava-se com Hexano para retirada completa da cera e torna a deixá-lo secando ao ar livre antes da moagem (Figura 30).

Figura 30 – Exocarpo do licuri

Por esmagamento manual, com a utilização de um pilão adaptado de tubo de Cloreto de polivinil (PVC) e base de aço inox conseguiu-se a fragmentação do exocarpo do licuri, e em um moinho de facas (Figura 31 a e b, respectivamente) e um liquidificador adaptado efetuou-se a moagem mecânica, depois o material foi peneirado até a granulometria desejada 54 μm - 73 μm . A partir daí foram feitas as placas com as porcentagens de 0%, 10%, 20%, 30% e 40% em massa do EMLI e

resina. O procedimento foi realizado no Laboratório de Tecnologias Sociais e Não Metálicos do IFBA – Simões Filho.

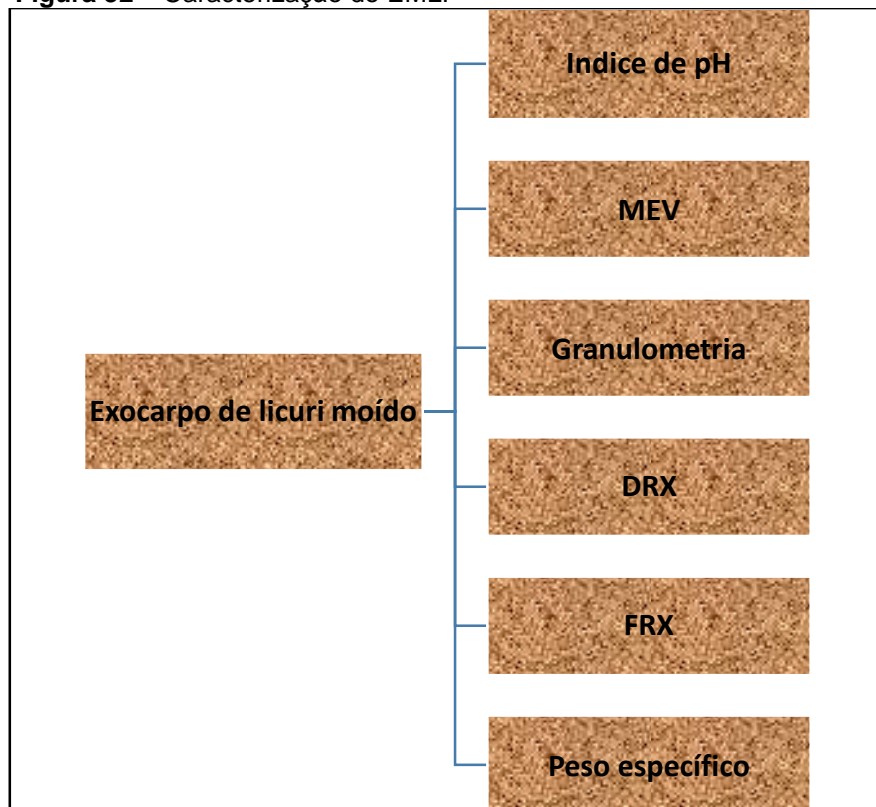
Figura 31 – Pilão adaptado (a) e moinho de facas (b)



3.3 CARACTERIZAÇÃO DO EXOCARPO DO LICURI

As propriedades específicas variam em cada substância, sendo assim caracteriza um material. (Figura 32).

Figura 32 – Caracterização do EMLI

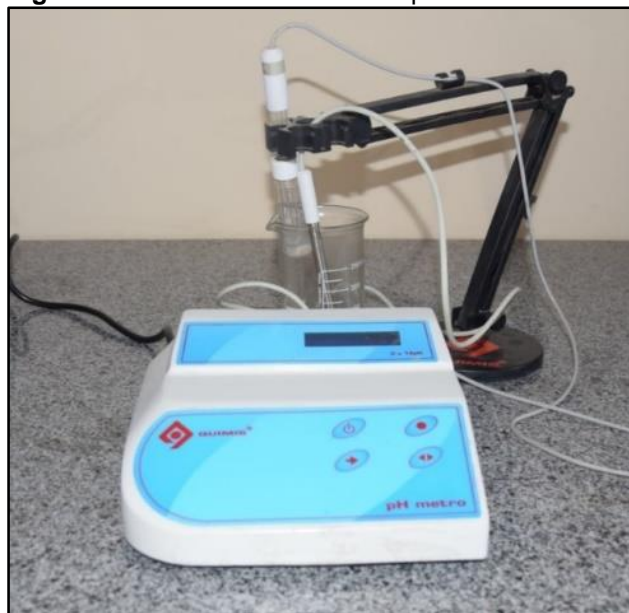


3.3.1 Potencial Hidrogeniônico (pH)

A importância deste ensaio está ligada diretamente a polimerização da resina no compósito, pois a variação dos valores do pH afeta o tempo de cura da resina. O procedimento adotado para este ensaio foi o seguinte: colocou-se 10% do EMLI em um recipiente graduado (Becker) e completado com 90% de água destilada, agitando e efetuando a leitura direta no aparelho comparando com uma solução padrão, foram feitos três ensaios e os valores obtidos estão na Tabela 06 no resultado.

Este ensaio foi realizado no Laboratório de Tecnologias Sociais e Não Metálicos do IFBA Filho / Simões e foi utilizado um pH Metro, Marca Quimis, Modelo 400 A, 110/220 V, 10 W e número de série 0805842 (Figura 33).

Figura 33 – Medidor universal de pH



3.3.2 Análise por Microscopia Eletrônica de Varredura - MEV

Com o objetivo de verificar a morfologia da superfície do EMLI, Figura 34 e a diferença granulométrica das partículas, assim como o grau de adesão entre matriz e resíduo e as faces fraturadas dos ensaios de tração e flexão, foram obtidas micrografias em um microscópio eletrônico de varredura, modelo 51-ADD0007, marca Tecsan INCA x-act SN 35707x, sensor 51 – 1385-026, resolução 5,9 kV no

sentido longitudinal (Figura 35). Instalado no Laboratório de caracterização de materiais do IFBA / Salvador.

Figura 34 - CPL para análise de MEV



Figura 35 – Equipamento de MEV



3.3.3 Granulometria

O ensaio consistiu em passar o EMLI em peneiras com malhas conhecidas. No presente estudo adotou-se 54 a 73 μm , peneira eletromecânica marca Pavitest, modelo I-1016-A (Figura 36) para as granulometria mais fina e o peneiramento manual nos *mashs* 12, 14 e 16 para as partículas mais grosseiras (Figura 37).

Figura 36 – Peneirador eletromecânico



Figura 37 – Peneiramento manual



3.3.4 Análise de Difração de Raios-X (DRX)

A estrutura cristalográfica do EMLI foi analisada através de dois ensaios de DRX. Para esta análise foi utilizado o método do pó 10g aproximadamente, com grãos entre 54 e 73 μm , a varredura foi de 0° a 90° com tubo de cobre usando uma radiação $\text{CuK}\alpha$ $\lambda = 0,15418 \text{ nm}$ e com tensão e corrente de 40,0 kV e 30,0 mA, respectivamente, e velocidade de escaneamento de $2^\circ/\text{min}^{-1}$.

O difratograma foi obtido a temperatura de 25° C em um difratômetro da Marca Shimadzu, modelo XRD 7000 (Figura 38) no Laboratório de Caracterização de Materiais do IFBA – Salvador.

Figura 38 – Difratorômetro

O índice de cristalinidade foi calculado pela Equação 15, a seguir:

$$\% I_c = \frac{P(\text{cr}) - P(\text{am})}{P(\text{cr})} \times 100 \quad (15)$$

Onde:

I_c == Índice de Cristalinidade (%)

$P(\text{cr})$ = Pico cristalino (intensidade máx. de difração)

$P(\text{am})$ = Pico Amorfo ($2\theta = 18^\circ$)

3.3.5 Análise de Fluorescência de Raios X (FRX)

Foram compactados 50g de EMLI após ser macerado em um cadinho de porcelana com 10 ml de água destilada, depois foi depositado em uma matriz de aço inox 304 L e compactado por 10 minutos por uma pressão de 10 Ton, formando uma pastilha com dimensões de 35mm de diâmetro e 6,0 mm de espessura (Figura 39).

Foi utilizada uma prensa hidráulica modelo (P-15ST), fabricante *Bovenue* Ind. Mecânica, com capacidade 15 Ton (Figura 40) e um equipamento de RX, marca *Bruker*, modelo S2 Ranger (Figura 41), ambos instalados no Laboratório de caracterização de materiais do IFBA / Salvador.

Figura 39 – Prensa hidráulica**Figura 40 – Pastilhas para ensaio FRX****Figura 41 – Equipamento de FRX**

3.3.6 Peso Específico

Para executar o ensaio de peso específico foi utilizado método prático. Por ser de fácil execução e ter boa confiabilidade, foram realizados dois ensaios.

Descrição simplificada do ensaio:

- 1 – Pesou-se um frasco graduado e seco;
- 2 – Colocou-se neste frasco 40 /50 g de carga de enchimento;
- 3 – Anotou-se o peso da carga;
- 4 – Adicionou-se água destilada até 70% do volume total do frasco e agitou bem;
- 5 – Adicionou-se água destilada até encher o frasco.
- 6 – Pesou-se o frasco cheio (Frasco + Carga + Água);
- 7 – Determinou-se o peso específico da carga

O ensaio de peso específico foi executado no Laboratório de Tecnologias Sociais e não metálicos do IFBA / Simões Filho, a uma temperatura de 25 C° utilizada a Equação 11.

3.4 PREPARAÇÃO DO COMPÓSITO

Para preparação do compósito foi escolhido o método *Hand lay up*, com molde aberto, pela facilidade, simplicidade e baixo custo. A preparação seguiu o fluxograma (Figura 24) apresentado anteriormente:

A metodologia utilizada foi a seguinte: Despejou-se a RPO em um recipiente e adiciona-se o EMLI, ambos nas proporções determinadas após pesagem em uma balança eletrônica de precisão, fabricante Marte, mod. 200I (Figura 42).

Figura 42 – Balança analítica de precisão



As quantidades de Carga de enchimento – EMLI, devidamente seco em uma estufa por 24 horas a 105° C, para cada placa a ser confeccionada. Em seguida, foi medida a quantidade de RPO (Tabela 07) sempre observando as normas de segurança e as orientações do fabricante.

Para conseguir uma homogeneização padrão para mistura de todas as placas e tarugos, foi utilizado um misturador doméstico com rotação de 720 rpm com um tempo de 10 minutos (Figura 43), a escolha deste período de tempo foi de forma aleatória, incluindo aí o adicionamento do catalisador.

A mistura foi colocada no molde de granito com as dimensões 300 mm x 300 mm x 10 mm (Figura 29), devidamente polido e encerado com cera desmoldante de carnaúba, aguardada a cura por um período de 24h para a total polimerização para desmoldagem da placa.

Depois de desmoldadas, as placas foram colocadas em uma estufa artesanal para efetuar a pós-cura por mais 24 horas.

Figura 43 – Misturador doméstico



A preparação do compósito foi realizada no Laboratório de Tecnologias Sociais e não Metálicos do IFBA – Simões Filho, observando a umidade e temperatura da sala.

Foram confeccionadas quatro placas com RPO, onde adicionou-se as quantidades de EMLI em massa e uma placa de resina pura (Tabela 06). Os CPL foram fabricados de acordo com as normas ASTM pertinentes (Tabela 07).

Tabela 06 – Quantidade de resina e EMLI

Matriz (g)	Carga de enchimento (g)
1000 RPO	0 EMLI
900 RPO	100 EMLI
800 RPO	200 EMLI
700 RPO	300 EMLI
600 POR	400 EMLI

Para a confecção dos CPL, as placas foram medidas e cortadas, ver Tabela 08 e Figura 44 em uma Serra Fita vertical, marca Becarro, modelo 1,74 (Figura 45).

Tabela 07 – Normas, medidas e quantidades de CPL

Ensaio	Norma - ASTM	Dimensões CPL	Quantidades
Tração	D- 638-10	160 x 20 x 6	10 un /cada
	D-790-90	120x 10 x 6	10 un /cada
Impacto	D-5420-98	30 x 30 x 6	15 un /cada
Absorção de Água	D-570-95	20 x 25 x 6	05 un / cada
Densidade	D- 792	5 x 5 x 6	03 un / cada

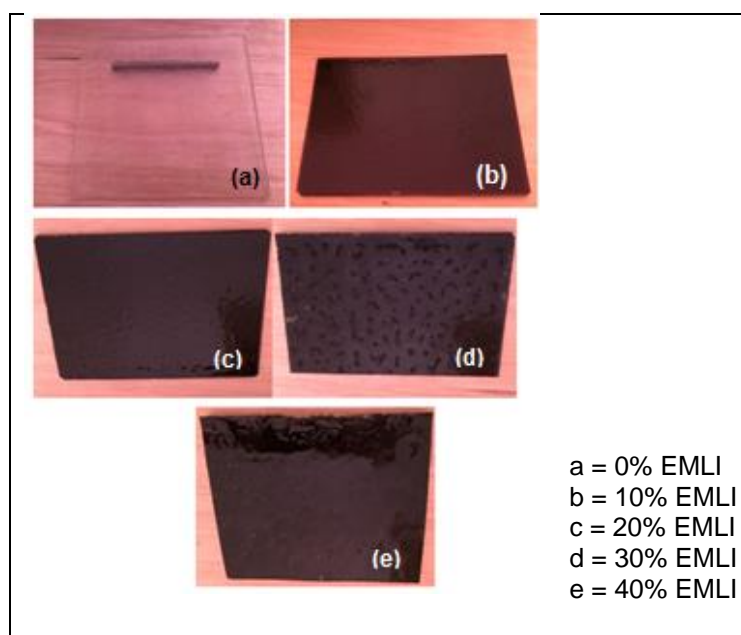
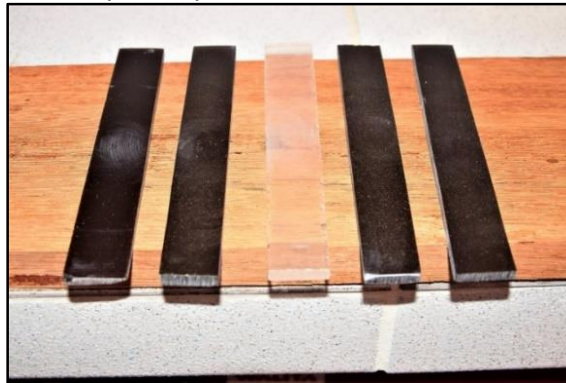
Figura 44 – Placas de compósitos

Figura 45 - Serra Fita vertical

Todos os CPL ficaram com um sobre material de aproximadamente 3 mm para posterior lixamento e polimento (Figura 46). Para isso, preparou-se uma bancada metalográfica, na qual foi feito o lixamento dos CPL de maneira manual com as lixas d'água de números 80, 220, 400, 600, e 1200, com hidróxido de alumínio, a fim de se atingir as dimensões desejadas. (Figura 47).

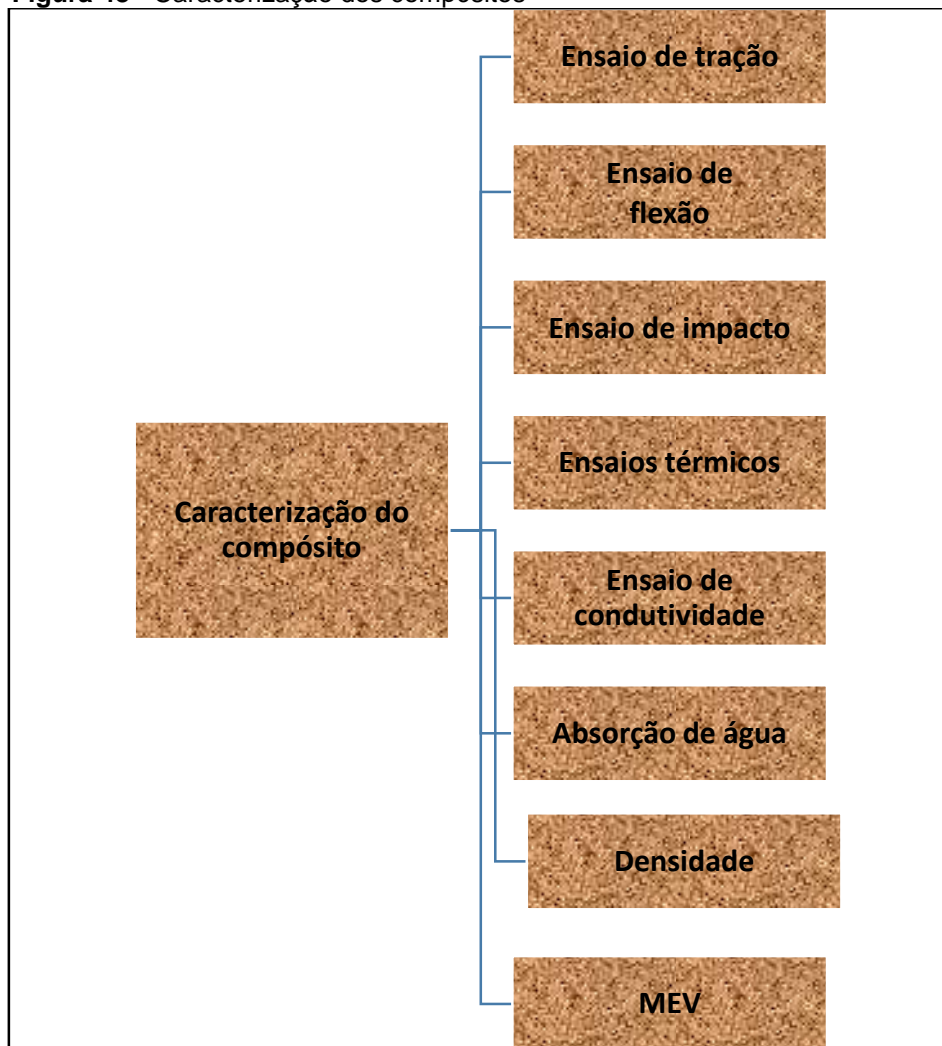
Figura 46 - Corpos de prova de ensaio de resistência a tração**Figura 47 - Máquina de polimento**

Este procedimento foi realizado no Laboratório de Tecnologias Sociais e não Metálicos do IFBA – Simões Filho, observando a umidade e temperatura da sala 75% e 25C°, respectivamente.

3.4.1 Caracterização do Compósito

A finalidade de uma caracterização é a importância na escolha e utilização de um material, pois é a partir daí que passa-se a conhecer com mais precisão suas características e aplicabilidade em função dos ensaios e testes a serem feitos (Figura 48).

Figura 48 - Caracterização dos compósitos



3.4.2 Características Mecânicas

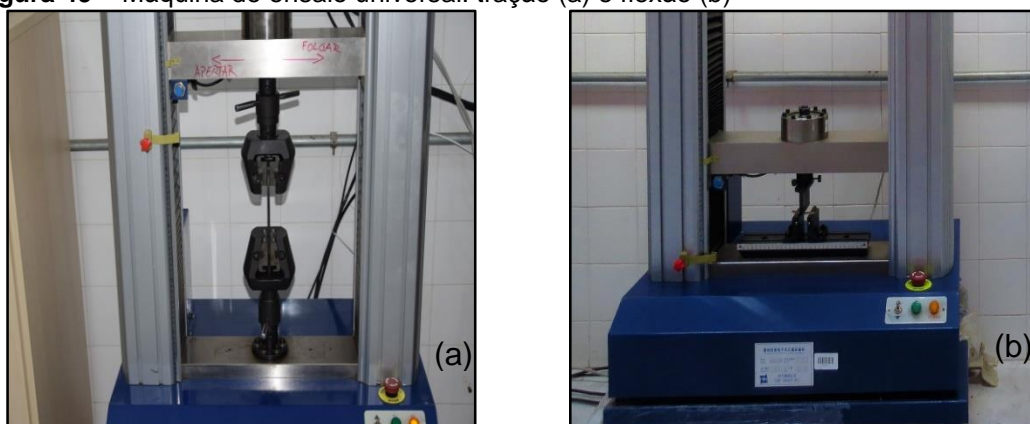
O comportamento mecânico do compósito foi determinado através dos ensaios de tração uniaxial e flexão em três pontos. Os mesmos foram realizados à temperatura ambiente (25°C), em um equipamento *Time Group* WDW-20E, ver Figura 49 a e b, instalado no laboratório de tecnologia sociais do IFBA / Simões Filho e o procedimento adotado foram observados da norma ASTM – D630-10 e 790-90.

Os CPL foram cortados lixados e polidos segundo as técnicas de metalografia, como mostrados na Figura 47 mencionada anteriormente. Foram cortados dez CPL e aproveitado cinco resultados, tomando o cuidado de descartar o pior e o melhor resultado. A Tabela 08 abaixo informa os parâmetros da máquina universal de tração.

Tabela 08 - Parâmetros da máquina universal de tração

Carga Máxima	Precisão das Carga	Resolução da Carga	Resolução do deslocamento da Mesa	Velocidade da Mesa
20 kN	+ - 0,5 %	0,001FS	0,001 mm	0,005mm/min(min) 500 mm/min(max)

Figura 49 – Máquina de ensaio universal: tração (a) e flexão (b)



Para o ensaio de tração um CPL é fixado nas garras da máquina e tracionado até a ruptura, em seguida é impresso um gráfico e um relatório do ensaio.

Foi utilizado o método de três pontos e consiste em flexionar uma barra apoiada nas extremidade, sendo aplicada uma força perpendicular no centro da face oposta e orientou-se pelas normas ASTM 790 ver Tabela 08 e analisou-se as

seguintes propriedades: resistência máxima a flexão, alongamento total e módulo de Young e foi utilizada a Equação 1 para o cálculo da tensão ruptura e a Equação 2 para o módulo de Young. Os parâmetros da máquina estão na Tabela 09.

3.4.3 Ensaio de impacto *Gardner*

Consiste na elevação de um torpedo com massa padrão a uma determinada altura e soltá-lo em queda livre e avalia-se a energia de impacto absorvida em Joule (J) Equação 16 por um CPL de dimensões 30 x 30 x 6 mm de acordo com a norma ASTM 5420 – 98. Foram utilizados trinta e cinco CPL e aproveitados quinze , pois, ao executar o ensaio não se pode repetir o CPL não fraturado ou rompido.

$$E_c = m.g.h \quad (16)$$

Onde:

m = massa do torpedo (Kg)

g = aceleração da gravidade (m/s^2)

h = altura de onde é solto o torpedo (m)

Para o referido ensaio utilizou-se uma Máquina de impacto *Gardner Impact Tester*, serie 16/1121 de fabricação BYK – *Gardner*. (Figura 50) e os respectivos CPLs (Figura 51) no Laboratório de tecnologias sociais do IFBA – Simões Filho.

Figura 50 - Máquina de impacto *Gardner*



Figura 51 – CPLs para ensaio de impacto



3.4.4 Análise Termogravimétrica – TGA/DTA

A amostra em forma de raspa para o compósito e em pó para o resíduo, foram colocadas em cadinhos de alumínio devidamente tarado e acoplado a uma plataforma; dentro dele foram colocados 5 mg de cada amostra por vez, para serem determinadas as temperaturas de degradação para cada concentração do compósito e do resíduo.

O cadinho foi então envolvido pelo forno elétrico Figura 52, de maneira tal que a amostra pudesse ter sua temperatura monitorada em função da variação da potência do forno a uma temperatura de 28°C a 500°C, a uma taxa de aquecimento de 10°C por minuto.

Figura 52 – Aparelho de TG



Os resultados são apresentados em forma de curvas termogravimétricas (TG), em que a variação do peso é constatada em relação ao aumento controlado da temperatura ou do tempo. Qualquer mudança na massa que venha a ocorrer em temperaturas próximas logo será identificada.

Alguns fatores que podem afetar o resultado de um ensaio termogravimétrico são: efeitos instrumentais (velocidade do forno, atmosfera, forma e material do cadinho), características da amostra (peso, granulometria, umidade, forma de preparação), entre outros.

Parâmetros:

- Detector – TGA – 51 H
- Célula – Platinum
- Atmosfera – Argônio
- Taxa – 50.00ml/min.
- Taxa temperatura – 10°C/min.
- Faixa de ensaio – 0° até 600°C
- Peso – 5,0mg

Este ensaio foi realizado no Laboratório de caracterização de materiais no IFBA-Salvador.

3.4.5 Propriedades Termofísicas

O analisador de propriedades termo físicas, KD2 Pro fabricado *pela Decagon Devices*, determinou as propriedades de condutividade térmica, calor específico, resistência térmica e difusividade, tanto das matrizes utilizadas, quanto das formulações do compósitos estudadas.

O equipamento KD2 PRO utilizado para determinação das propriedades termo físicas dos compósitos é apresentado na figura (Figura 53). O ensaio foi realizado no Laboratório de Mecânica dos Fluídos da UFRN.

Figura 53 - (a) Kit Condutivímetro KD2 Pro e sensores e (b) Condutivímetro KD2 Pro



Fonte: Manual do fabricante

O KD2 Pro possui três sensores distintos o KS-1, TR-1, e SH-1. O KS-1 e TR-1 são utilizados para leituras de condutividade e resistividade térmica em líquidos e sólidos respectivamente e, apresentam um único sensor. O SH-1 apresenta dois sensores para medidas de calor específico volumétrico, difusividade térmica, condutividade e resistividade térmica. Este mesmo sensor, SH-1 é compatível com muitos sólidos e materiais granulados.

Tendo em vista as propriedades resistência e condutividade térmica, calor específico e difusividade térmica a serem analisadas, se escolheu o sensor SH-1 apropriados para tais propriedades.

Para verificação e levantamento das propriedades termo físicas, são apresentados de forma resumida os procedimentos para a realização das medidas:

- Escolha do sensor apropriado para o material a ser analisado;
- Realizar os furos na amostra a ser analisada para inserção de ambos os sensores com auxílio de um gabarito que acompanha o equipamento;
- Preencher o furo realizado na amostra com pasta térmica que acompanha o equipamento;
- Conectar o sensor no aparelho;
- Configurar o aparelho para o sensor escolhido;
- Inserir o sensor na amostra;
- Iniciar a medida.

O procedimento para realização do experimento é simples e de fácil entendimento, tendo sido organizado após a leitura do manual técnico do KD2 Pro observando a manutenção da qualidade das medidas.

Para medição nas análises térmicas foram utilizados CPL cilíndricos com as mesmas porcentagens das placas com EMLI e RPO, as dimensões padrão com 67,5 mm de comprimento e 50 mm de diâmetro com dois furos perpendiculares com diâmetro de 1,3 mm e 30 mm de profundidade, sendo os mesmos simetricamente opostos, com o intuito de observar se as amostras apresentavam alguma diferença de comportamento térmico as variações de temperatura. (Figura 54).

Figura 54 - Corpos de prova para análise de condutividade térmica



3.4.6 Ensaio de Absorção de Água

Algumas das principais utilizações da resina é na manutenção e fabricação de piscinas, embarcações, tanques e reservatórios de líquidos. Portanto se faz necessário este ensaio para análise do comportamento do compósito neste ambiente.

Os CPL no total de cinco com dimensões 20 x 25 x 6 mm foram devidamente limpos, secos em estufa a 105°C e pesados (37,6g total) e colocados em um vasilhame de vidro com tampa contendo 300 ml de água destilada Figura 55, para a análise da AA até a sua saturação, de acordo com a norma ASTM D 570-98 (ASTM, 1998). Este processo levou em torno de 100 a 150 dias, sendo que os nossos CPL ficaram submerso por 180 dias e saturados com 150 dias, sendo pesados no intervalo de tempo de três em três dias nas primeiras semanas e a partir daí de 15 em 15 dias, a partir do trigésimo dia o acompanhamento se deu com a pesagem de 30 em 30 dias.

Para a pesagem, utilizamos uma pinça para retirar os CPL dos vasilhames, em seguida os mesmos são secados com papel toalha macio e levado para balança Marca Marte, mod.200L, devidamente tarada. Este ensaio foi realizado no Laboratório de Tecnologia Sociais do IFBA – SF.

Para verificação da absorção utilizou-se a Equação 12 e 13 na folha 61.

Figura 55 – Corpos de prova em vasilhames



3.4.7 Densidade Aparente

A importância da determinação da densidade é orientar os projetistas e engenheiros sobre o peso das peças nas suas dimensões reais quando aplicada aos projetos. A densidade também pode determinar o grau de cristalinidade dos materiais.

Por ser um parâmetro fundamental para definição de índice de cristalinidade, procedemos a determinação das densidades volumétricas tanto do EMLI como do compósito em suas diversas formulações assim como a resina que serviu de matriz e os CPL possuíam as dimensões 5 x 5 x 6 mm. O método utilizado foi o de Arquimedes, que é amplamente usado pela sua simplicidade como também pela confiabilidade.

Foi utilizado um medidor de densidade marca Quimis, modelo DSL 910, (Figura 56) no laboratório de Mecânica dos fluidos da UFRN e observando o manual do fabricante adotou-se a seguinte sequência de manuseio:

- a) Colocar água destilada até o nível marcado no Becker (marca padrão);

- b) Efetuar a tara do equipamento;
- c) Pesar a mostra seca no próprio equipamento;
- d) Colocar a amostra após pesada no cesto;
- e) Mergulhar cesto com amostra no Becker com água destilada e observar o peso;
- f) Efetuar a leitura do peso no visor do equipamento.

Figura 56 - Medidor de Densidade



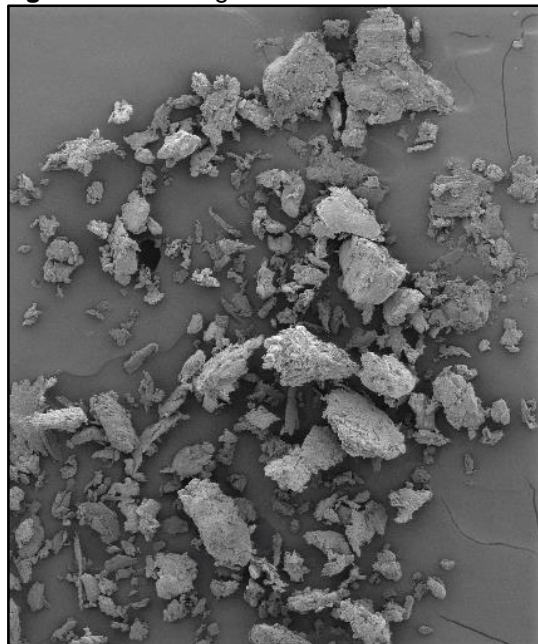
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Sua caracterização é importante, pois, através dela identificamos a geometria e integridade das partículas, assim como possíveis contaminações que venham interferir no processo de fabricação do compósito ou no processo de polimerização da resina.

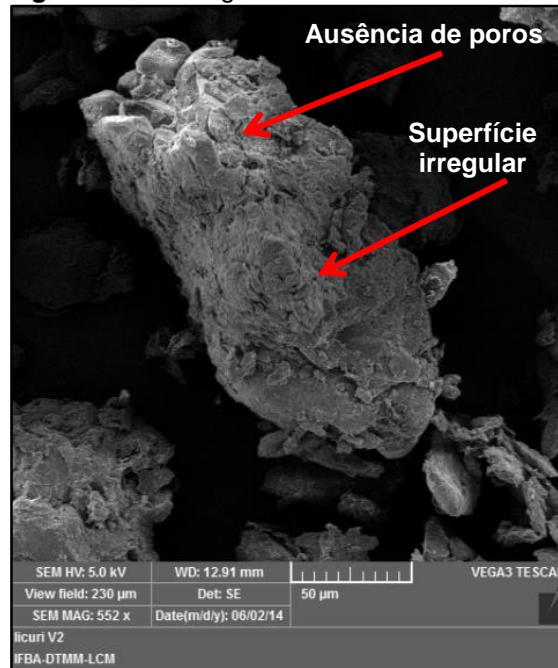
4.1 ANALISE MICROESTRUTURAL DO EMLI

Observou-se nas micrografias do EMLI, Figura 57, que não é notada a presença de contaminantes em larga escala, bem como que as partículas possuem dimensões distintas, de acordo com a proposta do trabalho.

Figura 57 – Micrografias do EMLI



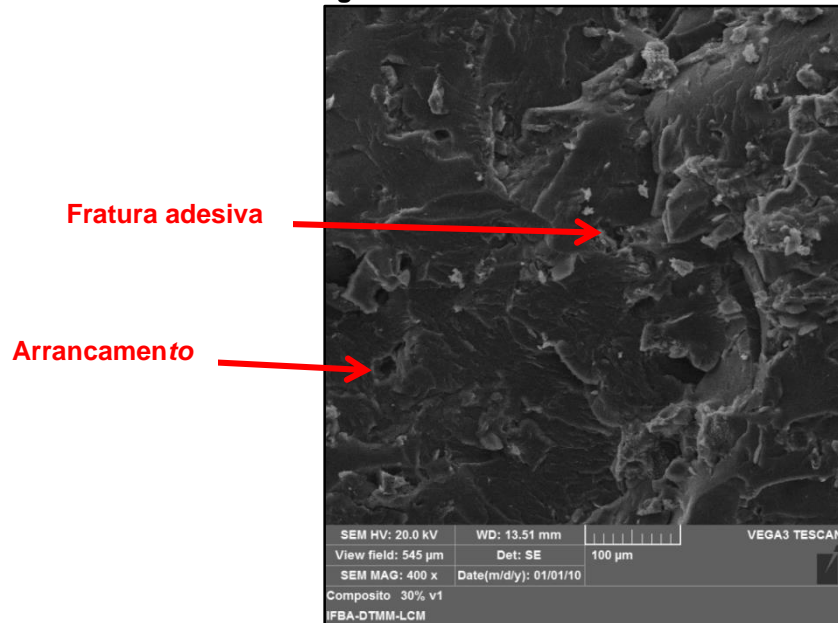
Na figura 58 percebeu-se a rugosidade e irregularidade da superfície. O que melhora a adesão carga de enchimento – matriz e ausência de porosidade. Pode-se concluir que tem uma interferência direta na AA.

Figura 58 – Micrografia do EMLI

4.2 ANÁLISE MICRO ESTRUTURAL DOS COMPÓSITOS

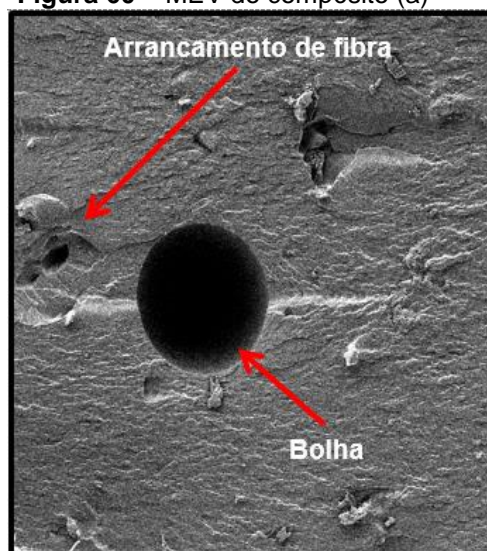
Analizando micro estruturalmente as fraturas, através dos MEVs em suas composições propostas nos ensaios, tanto de flexão em três pontos como no de tração, percebeu-se que a superfície irregular do resíduo (Figura 59) possibilita uma melhor aderência entre o mesmo e a resina matriz.

Em todas as composições foi possível observar os mecanismos de falhas mais comum nos compósitos de fibras de origem natural, como arrancamento também conhecido de *pull-out* (Figura 59), consequência da falta de aderência entre o resíduo e a matriz, porém em regiões específicas. Demonstrando que apesar da orientação aleatória devido ao tamanho das partículas, aquelas que estão na direção da carga e orientação da fratura tendem a sofrer este tipo de arranque.

Figura 59 - MEV do arrancamento do resíduo

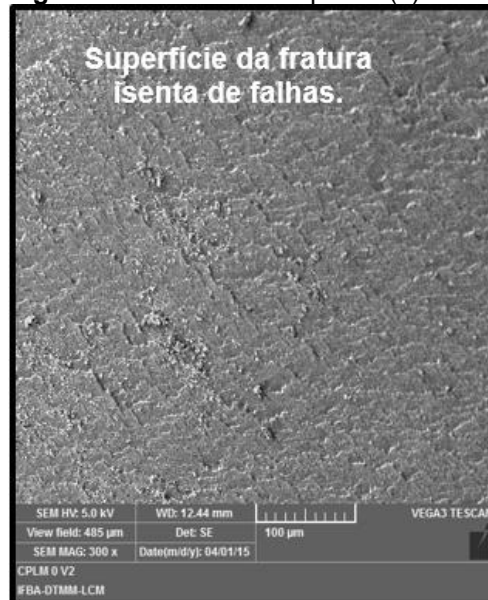
Foi observado também, que houve uma predominância nas fraturas adesivas e coesivas na matriz do compósito, explicado pela concentração de energia de fratura devido ao ângulo da carga em relação a matriz, o que resulta em maior energia de fratura (Figuras 60 a - h).

Na Figura 60 (a) observa-se região rica em resina e EMLI, e crateras características de arrancamento de fibras. No centro verifica-se uma bolha, possivelmente oriunda do processo de fabricação.

Figura 60 – MEV do compósito (a)

Na Figura 60 (b) a fratura apresenta uma região isenta de qualquer tipo de alteração, sendo possível observar pontos de EMLI.

Figura 60 – MEV do compósito (b)



Nas Figuras “c” e “d” é possível observar nitidamente trincas na matriz e marcas de arrancamento de fibras (partículas maiores).

Figura 60 – MEV do compósito (c)

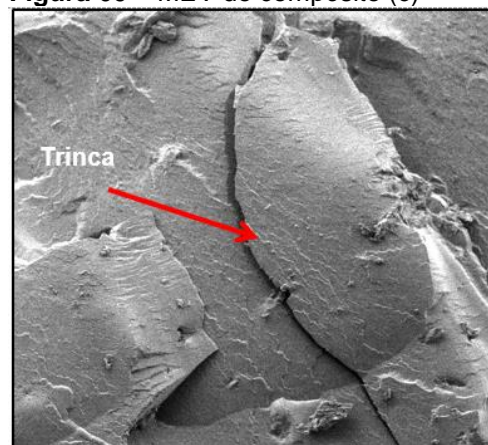
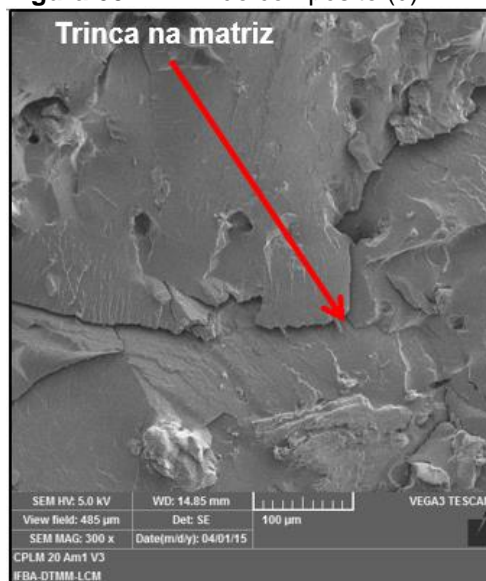


Figura 60 – MEV do compósito (d)

Nas Figuras “e” e “f” observa-se região rica em resíduo de EMLI, não sendo possível identificar nenhum tipo de intercorrência, seja de fratura ou de arrancamento de fibra.

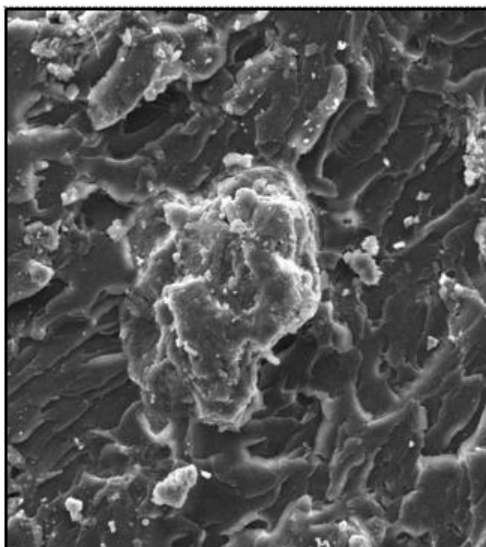
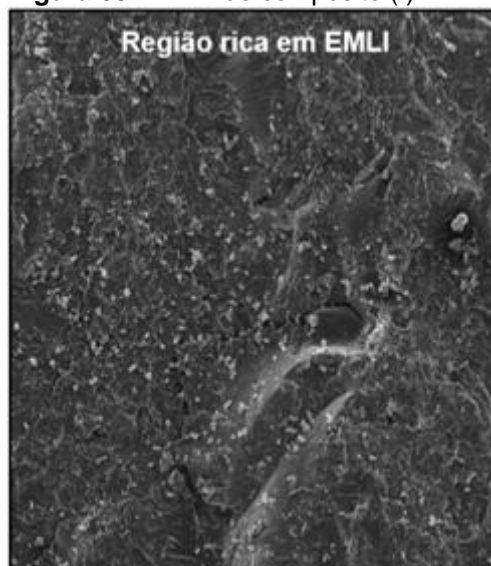
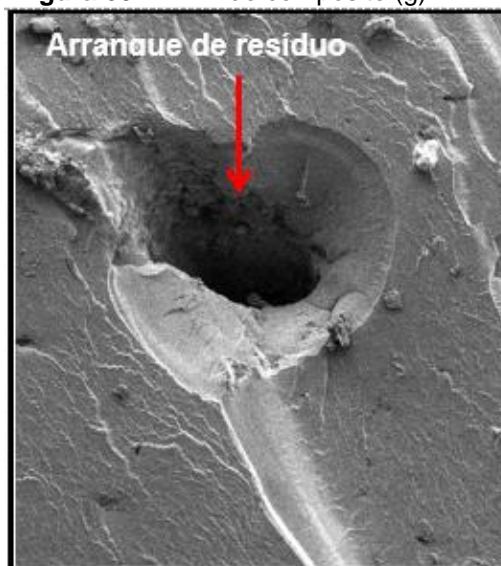
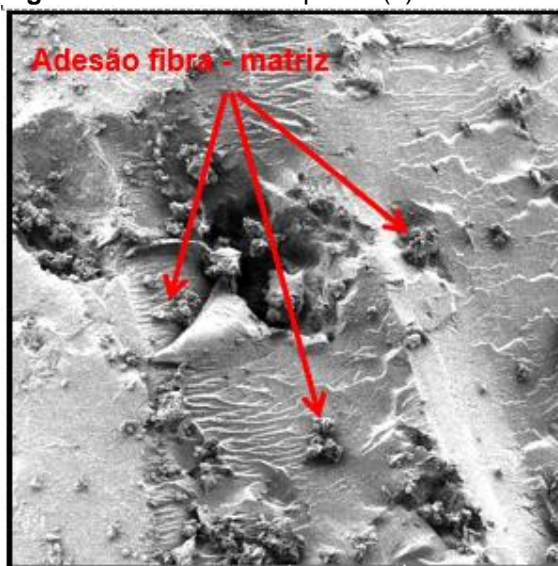
Figura 60 – MEV do compósito (e)

Figura 60 – MEV do compósito (f)

Na Figura “g” observa-se uma cratera característica de um arrancamento do resíduo, situação corrente quando não existe boa aderência entre o resíduo e a matriz, o que não é o caso do nosso compósito.

Figura 60 – MEV do compósito (g)

Na Figura “h”, na região da fratura é perceptível a presença de resíduo aderido a matriz, o que confirma a boa aderência do mesmo devido a sua rugosidade superficial e a irregularidade da sua forma.

Figura 60 – MEV do compósito (h)

4.3 ANÁLISE DO pH

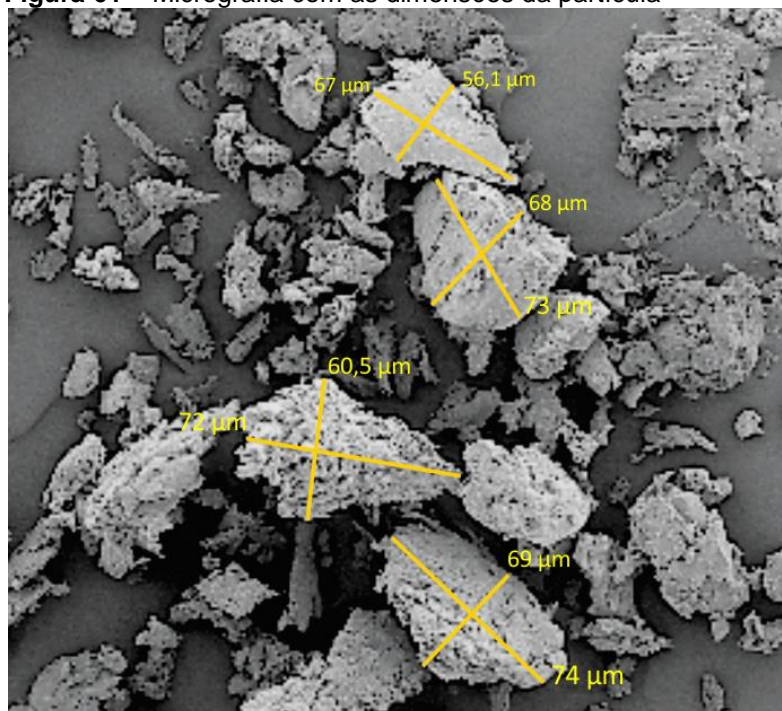
O resultado apresentado foi de 6,7 pH, ficando na faixa neutra, o que não incide nenhuma interferência no processo de polimerização da resina, não afetando portanto a fabricação do compósito, ver Tabela 09.

Tabela 09 – Ensaio de Potencial Hidrogeniônico

Solução	pH
10% EMLI + 90 % água destilada	6,7
10% EMLI + 90 % água destilada	6,8
10% EMLI + 90 % água destilada	6,7

4.4 GRANULOMETRIA

Para confirmação de que as partículas do resíduo estavam dentro do proposto, o MEV vem demonstrar estas dimensões, vide Figura 61.

Figura 61 – Micrografia com as dimensões da partícula

As partículas do EMLI, após análise do MEV, comprovam a eficiência da moagem e do peneiramento, ficando as partículas dentro do estabelecido para realização deste trabalho.

4.5 PESO ESPECÍFICO

A Tabela 10 abaixo mostra o resultado obtido para o peso específico após dois ensaios, onde ficou demonstrado que o material EMLI possui baixo peso específico, portanto, torna o produto final bastante leve e, por conseguinte mais econômico.

Tabela 10 – Resultados do ensaio do peso específico

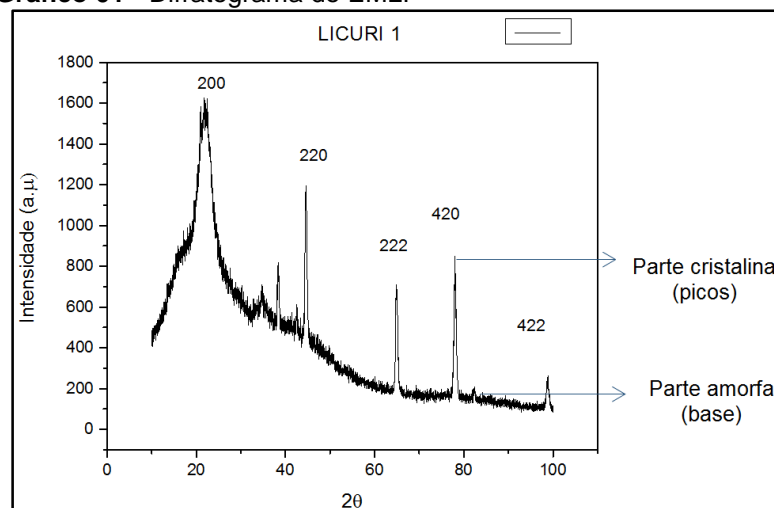
Materiais e parâmetros	Ensaio 01	Ensaio 02
Peso frasco graduado (g)	225	225
Peso do resíduo (g)	40	40
Peso do frasco +resíduo + água destilada (g)	450	450
Temperatura (°C)	25	26
Volume do frasco (ml)	200	200
Peso específico da água (g/cm ³)	0,996	0,996
Peso específico do resíduo (g/cm ³)	0,077	0,077

4.6 DIFRAÇÃO DE RAIOS X E FLUORESCÊNCIA DE RAIOS X

O Gráfico 01 corresponde ao difratograma do EMLI e é possível observar a existência de picos nos ângulos $22,3^\circ$ Theta, $38,0^\circ$ Theta, $48,3^\circ$ Theta, $65,0^\circ$ Theta e $78,0^\circ$ Theta que correspondem aos materiais lignocelulosicos, refletindo a estrutura cristalina da celulose. (D'ALMEIDA, 2007).

Os elementos predominantes no resíduo do licuri foram detectados no ensaio de FRX como mostra a Tabela 11 e demonstra a fase cristalina do mesmo, ficando as partes intermediárias do difratograma correspondendo a parte amorfa que também é característica dos materiais ligno celulósicos.

Gráfico 01 - Difratograma do EMLI



O pico principal no ângulo $22,3^\circ$, correspondeu ao plano (200) de difração da celulose nativa, ou seja, a lignina, os demais picos identificados do difratograma correspondem também a celulose nativa e aos planos (220), (222), (420) e (422) as faixas intermediárias correspondem a parte amorfa conforme literatura. (RONG, 2001).

Tabela 11 – Resultado do FRX

Na2O	MgO	Al2O3	SiO2	P2O5	SO3	Cl	K2O	CaO	Fe2O3	CuO	Cs2O	BaO	La2O3	CeO2
50,2	20,6	5,54	5,79	2,12	2,64	0,94	4,41	2,39	0,96	0,226	0,203	1,14	1,89	0,289

4.7 ENSAIO DE DENSIDADE

Analizando os resultados obtidos no ensaio de densidade para a matriz ortoftálica cristal e para o compósito em suas diversas formulações e exposto na Tabela 12 abaixo, verifica-se que a matriz ficou um pouco acima da especificação do fabricante (1,05 a 1,20 g/cm³) e que o compósito variou a proporção que foi adicionado resíduo, mas essa variação não ocorreu de forma significativa.

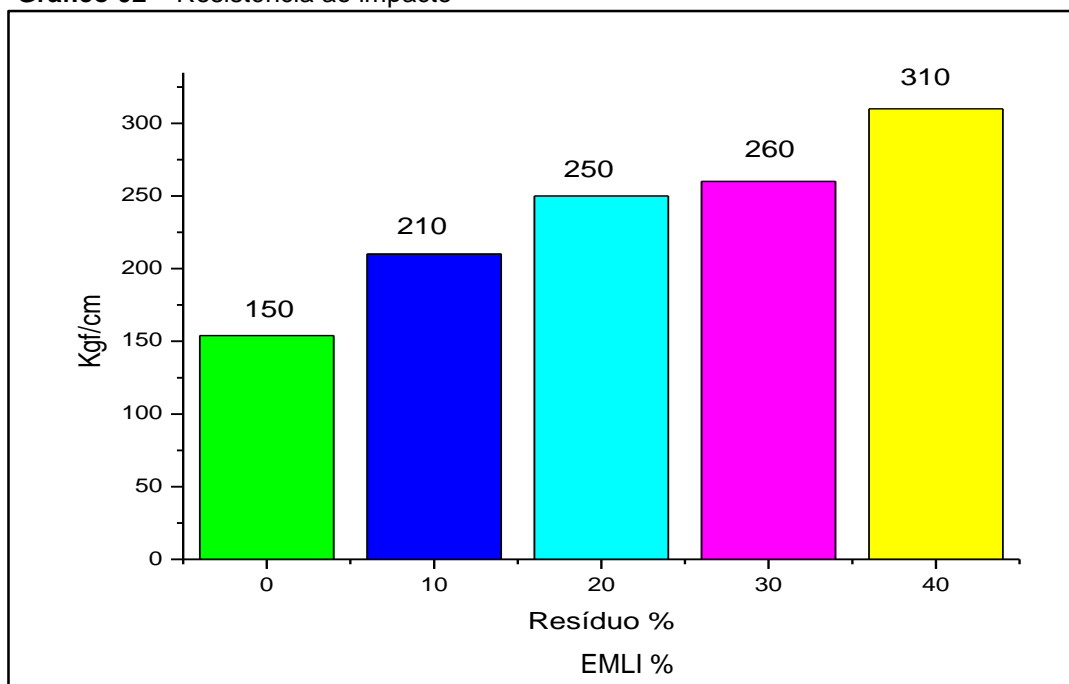
Os resultados demonstraram que não houve interferência significativa com a adição de resíduo no valor da densidade deste compósito, ficando uma variação no limite de 0,030 g.cm³ e um desvio padrão de 0,011g/cm³.

Tabela 12 – Densidade do Compósito e Matriz (g/cm³)

%	CPL 01	CPL 02	CPL 03	Média
RPO + 0 EMLI	1,315	1,316	1,307	1,3%
RPO + 10 EMLI	1,310	1,321	1,312	1,3%
RPO + 20 EMLI	1,320	1,322	1,321	1,3%
RPO + 30 EMLI	1,327	1,328	1,136	1,3%
RPO + 40 EMLI	1,347	1,344	1,342	1,3%

4.8 ENSAIO DE IMPACTO

Nos resultados obtidos neste ensaio, conforme demonstrado no Gráfico 02, o compósito reforçado com o exocarpo do licuri se comportou de maneira similar aos demais compósitos naturais, ou seja, a proporção que aumentamos a quantidade de resíduo aumentou-se a absorção de energia de impacto.

Gráfico 02 – Resistência ao impacto

Em relação às formulações estudadas pode ser observada que não houve um aumento significativo, porém o compósito com 40% de adição de resíduo foi o que apresentou melhor resultado. E o de 10% apresentou um desempenho mais baixo, ficando o de 20% em uma faixa intermediária, o que lhe conferi ser considerado juntamente com as demais análises a de melhor desempenho (Tabela 13).

Tabela 13 – Resultados dos Ensaios de impacto para os compósitos de EMLI

	CP1	CP2	CP3	CP4	CP5	CP6	CP7	CP8	CP9	CP10	CP11	CP12	CP13	CP14	CP15	Média
0%	8,5	7,0	8,0	8,0	7,5	7,5	9,0	6,0	7,5	8,0	8,5	8,5	7,0	7,0	8,0	7,7J
10%	12,5	12,5	13,5	10,0	12,5	11,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	7,5	7,5	7,5	10,5J
20%	12,5	17,5	12,5	10,0	12,5	10,0	10,0	10,0	15,0	15,0	10,0	10,0	17,5	10,0	15,0	12,5J
30%	15,0	10,0	12,5	12,5	12,5	10,0	10,0	15,0	10,0	12,5	10,0	15,0	20,0	15,0	15,0	13,0J
40%	15,0	12,5	15,0	17,5	20,0	15,0	15,0	15,0	17,5	17,5	15,0	17,5	12,5	17,5	12,5	15,5J

Desta forma, ficou evidenciado que o aumento da concentração do resíduo melhora a resistência ao impacto, e isto fica claro nas análises obtidas por micrografia de varredura, que demonstra uma interação carga matriz muito boa e também o grau de cristalinidade da material em relação a outros trabalhados com a mesma resina.

4.9 ABSORÇÃO DE ÁGUA

A água absorvida pelo compósito foi demonstrada pela observância da norma ASTM 570-98 e constatou-se a saturação em aproximadamente 150 dias do início dos ensaios e verificou-se uma absorção linear nas proporções de 10, 20 e 30% não se observando na formulação de 40%. A partir dos 30% existe a tendência de acontecer uma absorção mais equitativa. E de acordo com a Tabela 14 abaixo fica claro que o compósito com a formulação de 20% possui uma melhor indicação para uso em ambientes úmidos.

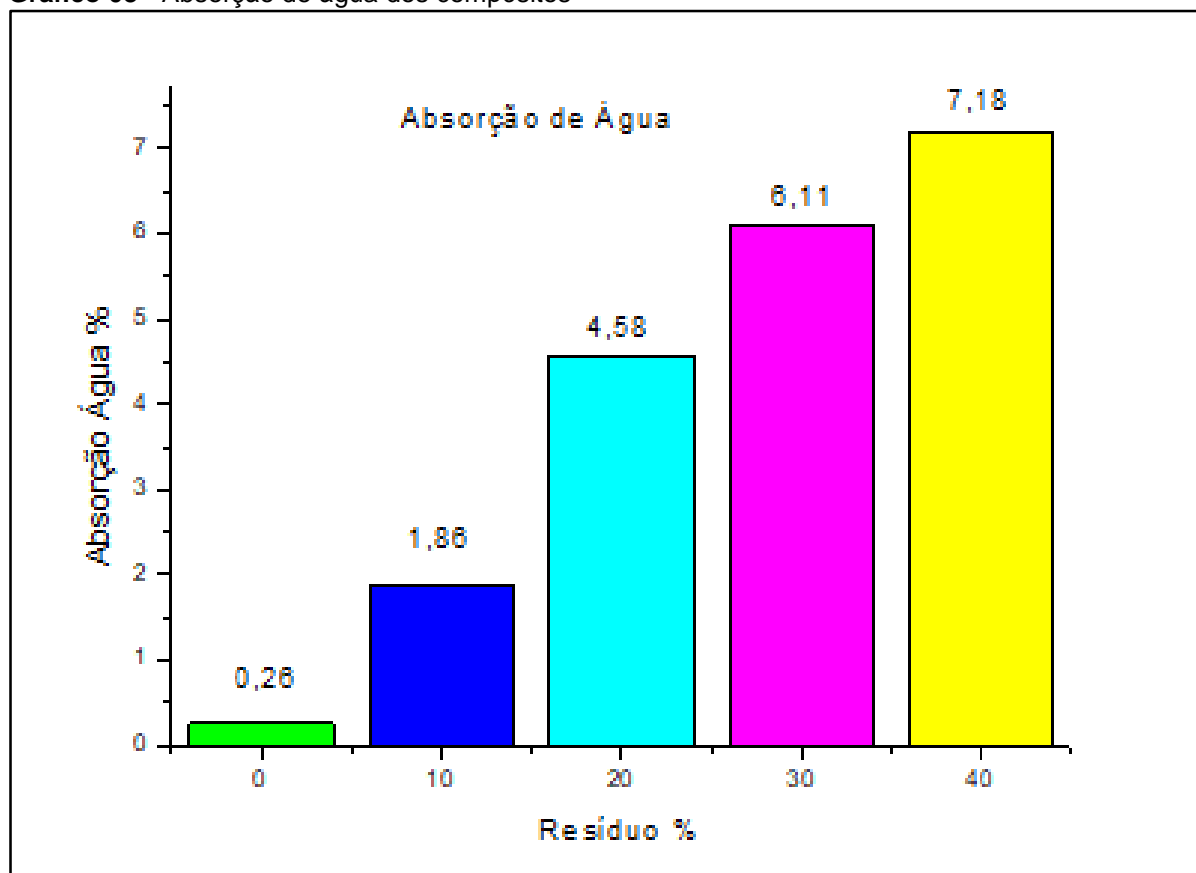
Tabela 14 - Resultado de absorção de água dos compósitos de EMLI

Resíduo (%)	P. Inicial (g)	P. final (g)	AA H2O (g)	AA H2O (%)	AA 30 dias (g)
0	37,6	37,7	0,1	0,26	0,05
10	37,6	38,3	0,7	1,90	0,14
20	37,6	38,8	1,2	3,19	0,24
30	37,6	39,9	2,3	6,12	0,46
40	37,6	40,3	2,7	7,00	0,54

Os resultados comprovam que existe a tendência de AA pelo compósito com maior concentração de resíduo, considerando que o fabricante indica uma absorção de 1% de água pela resina pura, foi observado que os compósitos com formulação de 30 e 40% os índices de absorção foram muito próximos, tendo uma diferença de aproximadamente 1% e demonstra a melhor viabilidade de uso pela estabilidade o de formulação de 20%.

Outra observação importante durante este ensaio foi que não houve de maneira geral uma degradação significativa do compósito e pode ser demonstrado pelo acompanhamento do peso e da absorção de água, que é um dos fatores desta degradação .

Portanto pode-se assegurar que o resultado da AA pelo compósito desenvolvido é analogamente similar a outros compósitos poliméricos que utilizam reforço natural tais como a piaçava, o sisal e a bananeira. A seguir, o Gráfico 03 de AA:

Gráfico 03 - Absorção de água dos compósitos

4.10 PROPRIEDADES TÉRMICAS

A Tabela 15 apresenta os resultados dos ensaios termofísicos realizados no compósito nas diversas composições e na resina matriz, Calor Específico (C), Difusividade Térmica (D), Condutividade Térmica (K) e Resistividade Térmica (R).

Tabela 15 – Propriedades térmicas dos compósitos de EMLI

Material	C MJ/m ³ k (Calor específico)	D mm ² /s (Difusividade)	K W/mk (Condutividade)	R °C·cm/W (Resistividade)
Resina	1,827 ± 0,183	0,096 ± 0,001	0,176 ± 0,018	568,1 ± 57,0
10	1,823 ± 0,182	0,090 ± 0,009	0,164 ± 0,016	610,0 ± 61,0
20	1,470 ± 0,147	0,096 ± 0,001	0,141 ± 0,014	710,0 ± 71,0
30	1,909 ± 0,190	0,103 ± 0,001	0,176 ± 0,017	567,5 ± 56,7
40	2,552 ± 0,255	0,098 ± 0,001	0,229 ± 0,023	437,2 ± 43,7

A adição de resíduo na matriz polimérica ocasionou mudança nas propriedades estudadas, porém, não de forma significativa e nem seguindo uma curva. Não foi observada uma sequência em relação a este aumento do resíduo.

Ao analisar o calor específico (C), foi observado que todas as formulações estão bem próximas da resina pura e com o aumento do EMLI, este valor aumenta sem muita significância, o que pode ser explicado pela metodologia da fabricação, que favorece ao aparecimento de bolhas provocando uma queda na capacidade de armazenagem de calor.

Comparando os valores obtidos para a difusividade térmica (D), todas as formulações apresentaram um valor bem próximo da resina utilizada como matriz, portanto sem variações significativas, de uma maneira em geral os compósitos apresentados em suas mais diversas formulações apresentaram baixa difusividade, o que significa dizer que podem ser utilizados como isolantes térmicos, isto em relação a outros compósitos apresentados na literatura.

Analisando a condutividade térmica(K) em todas as composições estudadas, não observamos grandes variações. Considerando que a condutividade térmica do PVC é igual a 0,21 W/m.k e que o compósito com formulação a 40% apresentou um coeficiente de $0,229 \pm 0,023$ W/m.k, pode-se concluir que esta formulação tem capacidade de isolamento térmico ficando de uma maneira geral próximo à do PVC. (BRASKEM, 2000).

4.11 ENSAIO DE RESISTENCIA A TRAÇÃO

Fazendo uma análise comparativa entre os valores obtidos nos ensaios, média e o valor fornecido pelo fabricante da RPO, pode-se perceber na Tabela 16 que a RT na matriz foi inferior 23,2% do que a informada no Boletim técnico do fabricante e o módulo seguiu esta mesma tendência e o alongamento manteve-se estável.

Tabela 16 - Resultados comparativos entre o fabricante e o ensaio a RPO

	Resist. à tração (Mpa)	Módulo Elástico (GPa)	Along. total %
Média	43,8	0,62	3,24
Fabricante	57,0	2,80	3,20

Após análise do Gráfico 04, das curvas tensão x deformação, pode-se observar na Tabela 17 que a variação das tensões decaíam em relação à matriz a partir do incremento de resíduo, ou seja, aumentando as proporções ocorre a diminuição da resistência do compósito.

Ressaltando que os CPL foram confeccionados de forma manual, com molde aberto, o que propicia o surgimento de bolhas, causa fragilidade e o aparecimento de trincas.

De forma geral, como acontece com este tipo de compósito, houve uma redução na resistência mecânica com o aumento da adição do resíduo, o mesmo não ocorrendo com o alongamento total (Tabela 17).

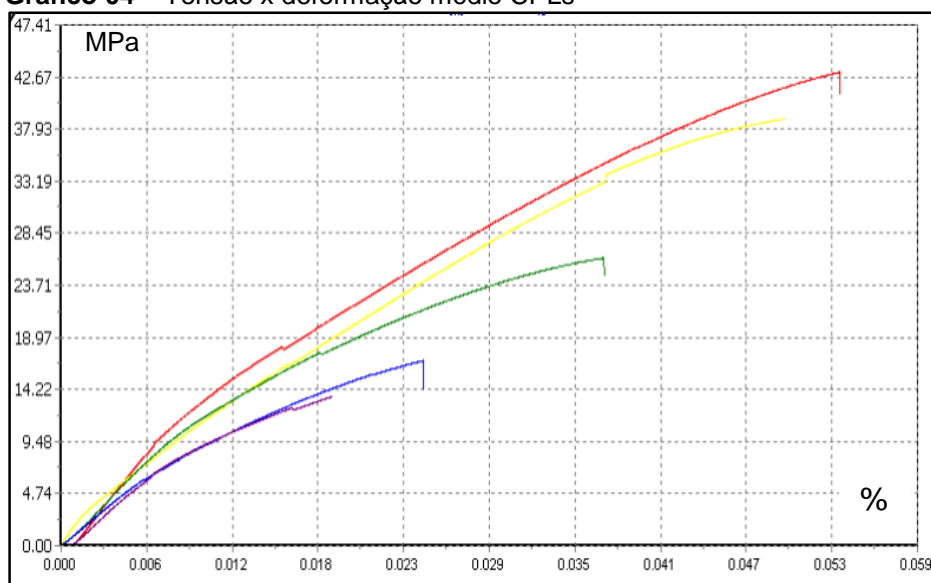
Gráfico 04 – Tensão x deformação médio CPLs

Tabela 17 – Resultado dos ensaios de resistência a tração

Compósito	Tensão de resistência (MPa)				Módulo elástico (GPa)			
	Min.	Max.	Média	Desvio	Min.	Max.	Média	Desvio
RPO + 0% EMLI	41,06	44,88	43,58	1,58	0,78	0,88	0,82	0,06
RPO + 10% EMLI	37,57	45,47	40,70	3,16	1,13	1,63	1,39	0,23
RPO + 20% EMLI	24,75	37,13	32,17	5,18	0,92	2,08	1,56	0,51
RPO + 30% EMLI	15,05	26,19	19,92	4,51	0,92	1,33	1,19	0,16
RPO + 40% EMLI	17,26	18,35	17,94	0,43	0,57	0,78	0,68	0,08

O compósito com formulação de 20% de resíduo apresentou um melhor resultado em relação aos demais o que pode ser constatado pela Tabela 17, sofrendo um decréscimo de 14,4% da resistência a tração em relação a matriz. É importante também ressaltar que de maneira geral, os módulos de elasticidade dos compósitos se apresentaram melhor que o da resina, portanto, mais rígidos que a resina pura.

Salientamos que o resíduo foi misturado a resina de forma mecanizada o que melhorou sensivelmente a distribuição no compósito e por não haver uma orientação, inclusive devido ao tamanho das partículas trabalhadas conclui-se que as cargas máximas ficaram de certa forma comprometidas, pois o resíduo utilizado não agiu como reforço e sim como carga de enchimento.

Durante o ensaio ficou demonstrado que o material sofre pouca deformação quando aplicada carga de tração assim como não apresentou empescoçamento, que é uma característica dos materiais dúcteis.

Apenas o compósito com formulação de 40% apresentou um módulo de elasticidade menor que 1GPa e pode ser caracterizada como de baixa rigidez, ao contrário das demais que foram caracterizadas como rígidas, pois apresentaram Módulo de elasticidade superior a 1 GPa. (GOMES, 2015).

As resistências à tração dos compósitos em todas as formulações apresentaram-se compatíveis com outros compósitos que utilizaram a mesma matriz e reforço natural, não sendo possível ainda uma comparação com o mesmo resíduo e outras matrizes por ser este trabalho pioneiro.

Para efeito de comparação apresentamos a Tabela 18 com os valores do módulo de Young e de resistência à tração da formulação melhor avaliada em

relação à média de outros materiais e compósitos conhecidos e foi demonstrado a sua eficácia.

Tabela 18 – Comparação Módulo de Young e Resistência à tração

Tipo de Material	Módulo de Young (GPa)	Resistência a Tração (Mpa)
Resina Cristal	3,2	57
Nylon	2,5	80
Poliuretano	0,01	20
Comp. MDF	0,93	22
Comp. Fibra Bananeira	1,22	8,96
Comp. Piaçava	1,64	13,7
Comp. EMLI 20%	1,56	32

4.12 ENSAIOS DE RESISTENCIA A FLEXÃO EM TRÊS PONTOS

Tendo como referência a norma ASTM D-790, que é a utilizada para materiais frágeis, tomamos os melhores resultados de oito analisados e apresentamos na Tabela 19 abaixo, a qual servirá de referência para a comparação com os compósitos nas suas formulações.

Pode-se observar que o resultado do ensaio foi menor em 29% em relação ao especificado pelo fabricante.

Tabela 19 – Comparação de resultados fabricantes x ensaio

	Resistência à flexão (Mpa)	Flexão (mm)
Medida	59,6	6,2
Fabricante	84,0	5,3

Em um ensaio de flexão, a carga aplicada segue a linha do cilindro aplicador e se na região central do CPL onde está sendo aplicado a carga estiver rica em resíduo ou resina, pode haver uma grande influência na tensão última, o Gráfico 05

mostra cada composição e a Tabela 20 demonstra o comportamento de cada formulação.

Gráfico 05 – Tensão Gráfico dos ensaios de Flexão em três pontos - Médias

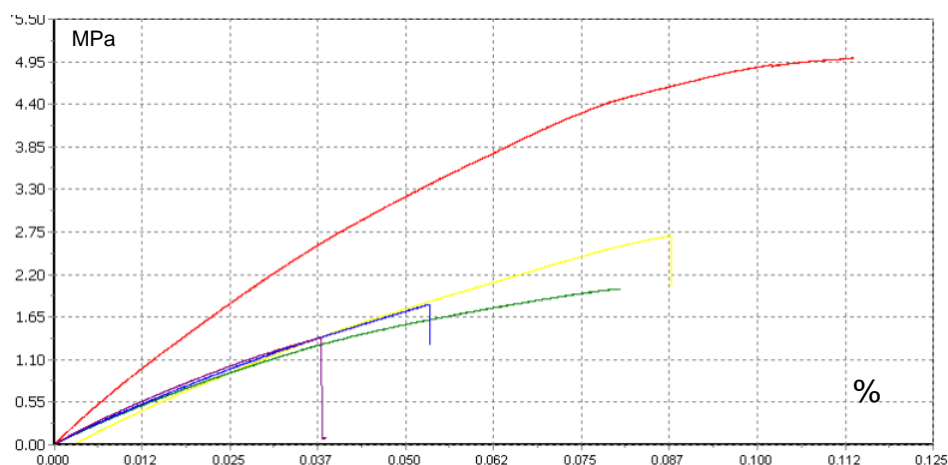


Tabela 20 – Resultado dos ensaios de resistência a flexão

Compósito	Tensão de resistência (MPa)			Flexão (mm)	Modulo Elástico (GPa)		
	Min	Max	Média		Min	Max	Média
0%	30,3	78,7	59,6	6,20	0,06	0,10	0,08
10%	25,9	39,9	34,0	5,40	0,02	0,03	0,02
20%	25,3	39,0	30,3	4,30	0,03	0,05	0,03
30%	17,2	27,7	22,7	2,90	0,03	0,04	0,03
40%	14,6	15,2	15,0	2,00	0,09	0,14	0,10

A resistência mecânica a flexão em todas as composições foram inferiores a resina pura, o que segue a tendências deste tipo de material produzido com resina ortoftálica cristal, e este comportamento é normal quando se trata de compósito reforçado com carga natural tal como a piaçava e o sisal ou até mesmo o MDF.

Observando os valores da resistência à flexão de todas as formulações com outros compósitos que utilizaram a mesma resina e são citados na literatura, podemos afirmar que os valores são muito próximos e isto indica que a carga atuou apenas como carga de preenchimento no compósito.

A resistência à flexão dos compósitos nas formulações propostas foi inferior a da matriz, o que é explicado pelo aumento de resíduo.

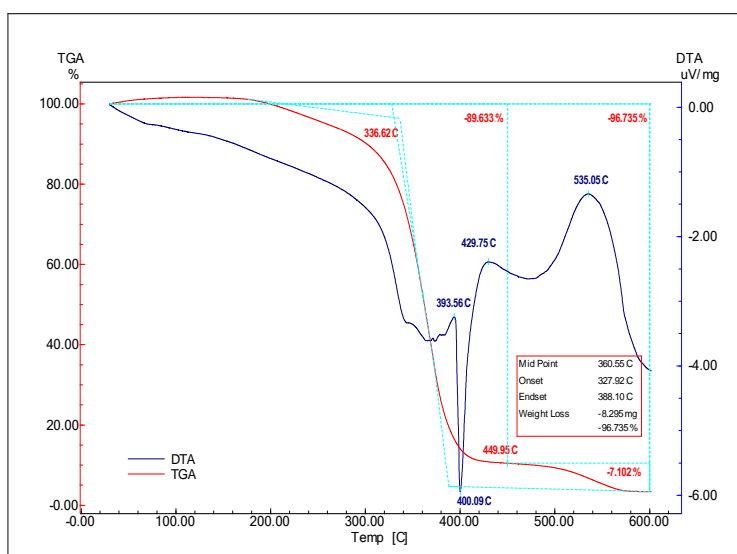
O compósito formulado com 20% de resíduo, apresentou um melhor desempenho nos resultados, tanto na média das resistências a flexão com a diminuição em torno de 43% em relação à matriz como também em relação a flexão que variou 30% em relação a matriz.

4.13 ANÁLISE TERMOGRAVIMÉTRICA

Nesta análise utilizou o exocarpo do licuri e os compósitos em suas diversas formulações. As curvas termogravimétricas apresentaram muita semelhança entre si e uma temperatura entre eles que podemos considerar desprezível, com início de degradação aos aproximadamente 15°C até os 160°C esta perda de massa pode ser observada nos gráficos 14, 15, 16, 17 e 18 e está ligada a perda de umidade, os demais componentes do resíduo vegetal se decompõe aproximadamente dos 230°C aos 360°C quando atinge 50% o teor de perda.

No ensaio TG da resina pura ficou constatado (Gráfico 06) que o pico exotérmico foi de 400°C e que será utilizado como parâmetro comparativo com os outros gráficos do compósito.

Gráfico 06 – Análise termogravimétrica TG/DTA 0% de resíduo de EMLI



A lignina é o componente mais hidrofóbico dos vegetais, além de ser cimentante ou adesivo entre as fibras (LEÃO, 2009). E é o último a se degradar em torno de 400°C.

Pela análise das curvas percebe-se que a degradação total ocorre a partir dos 600°C.

Nestes mesmos gráficos, vê-se a composição das curvas resultantes do TGA e DTA dos compósitos em suas formulações, da resina ortoftálica e do resíduo, e foi possível analisar que não houve grandes mudanças na estabilidade térmica do compósito em relação a resina. (Gráficos 07, 08, 09 e 10).

Gráfico 07 – Análise termogravimétrica TG/DTA 10% de resíduo de EMLI

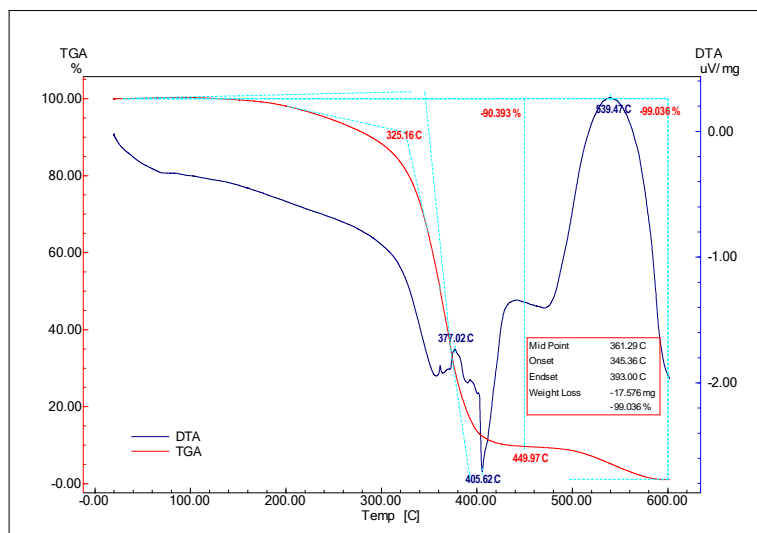


Gráfico 08 – Análise termogravimétrica TG/DTA 20% de resíduo de EMLI

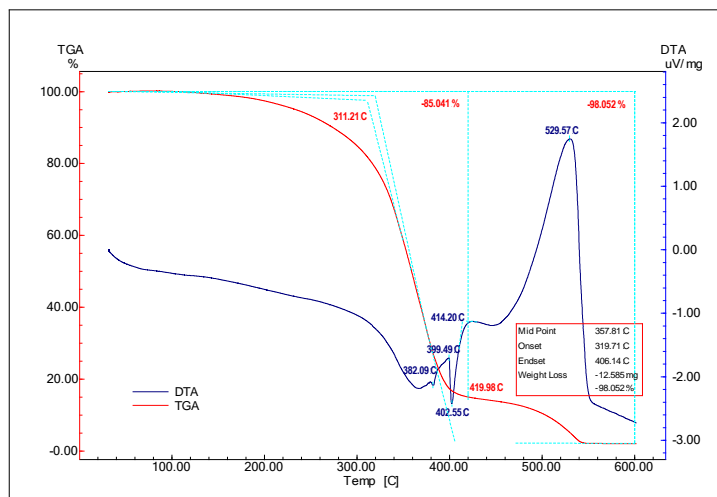
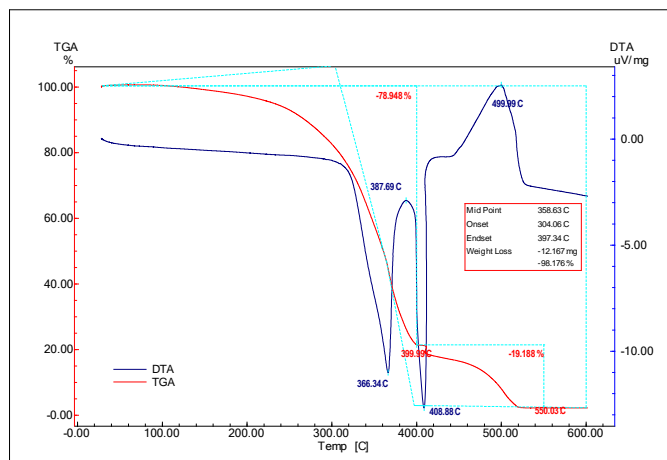
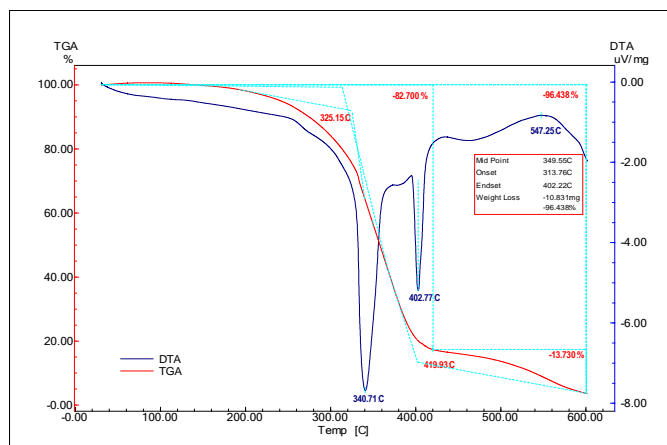
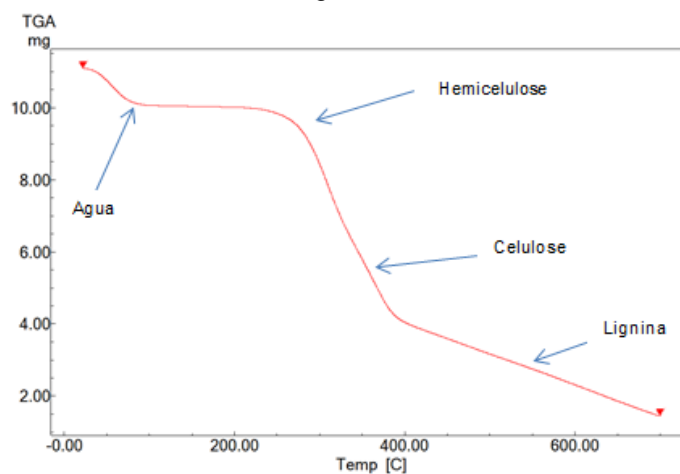


Gráfico 09 – Análise termogravimétrica TG/DTA 30% de resíduo de EMLI**Gráfico 10 – Análise termogravimétrica TG/DTA 40% de resíduo de EMLI**

A perda de água também foi analisada neste ensaio e se deu a partir dos 15°C até aproximadamente 150°C. (Gráfico 11).

Gráfico 11 – Análise termogravimétrica do EMLI

Para auxiliar a análise dos gráficos, demonstramos na Tabela 21 os valores das temperaturas de degradação para cada formulação do compósito assim como da resina, além de indicar os picos exotérmicos.

Ao analisar os picos exotérmicos, podemos verificar que não ocorreu alteração significativa na temperatura em decorrência da adição do resíduo e mantiveram-se com os valores próximo da temperatura da resina.

Tabela 21 - Temperatura de degradação do compósito e resina matriz

Amostra %	T inicial °C	T final °C	Média °C	Pico exotérmico
0	327,9	388,1	360,5	400,0
10	345,4	393,0	361,3	405,6
20	319,7	406,2	357,8	402,5
30	304,0	397,4	358,6	408,9
40	313,8	402,2	349,5	402,8

A perda de água durante os ensaios de TGA também foram observados e praticamente todas as amostras começaram a evaporar entre 15 e 30°C finalizando esta perda aos 160°C para o teor de resíduo de 40%, já para o compósito com teor de resíduo de 10% esta temperatura sobe para 142,0°C, o que pode ser verificado na Tabela 22 e todos os resultados estiveram acima da temperatura da resina.

Tabela 22 - Perda de Água

Amostra %	Massa de H ₂ O perdida %	Temp. °C
0	3,3	140,0
10	1,0	142,0
20	2,0	144,0
30	2,7	152,0
40	3,6	160,0

4.14 POTENCIAL APLICAÇÃO DO COMPÓSITO DE EMLI

Para testar o desempenho do compósito proposto, passou-se a utiliza-lo nas aulas práticas de Fabricação Mecânica dos cursos de Mecânica Industrial, nível técnico e Licenciatura em Eletromecânica, tarugos do compósito em substituição ao Aço Carbono SAE -1020 na fabricação de diversas peças que até então, usava-se o aço. Fabricação de peças em aulas práticas, em pesquisas acadêmicas em desenvolvimento e confecção de diversos objetos pela população rural de Uruçu Mairi.

Como benefícios ocorreram ganhos significativos, pois a redução de custos com desgaste de ferramental, óleo de refrigeração e na aquisição de aço, pois para cada peça fabricada gastava-se, dependendo do controle dimensional até 2 kg de tarugo de aço e considerando que a comercialização do mesmo se dá em barras de seis metros de comprimento, enquanto que o compósito pode ser fabricado nas dimensões propostas para a pré-usinagem, gastando menos de 400g por peça, além da redução do consumo de energia por hora /máquina.

A fabricação dos tarugos segue a mesma metodologia da fabricação das placas e é vertida em moldes cilíndricos de PVC, a pré-usinagem é realizada em um torno convencional (Figura 62).

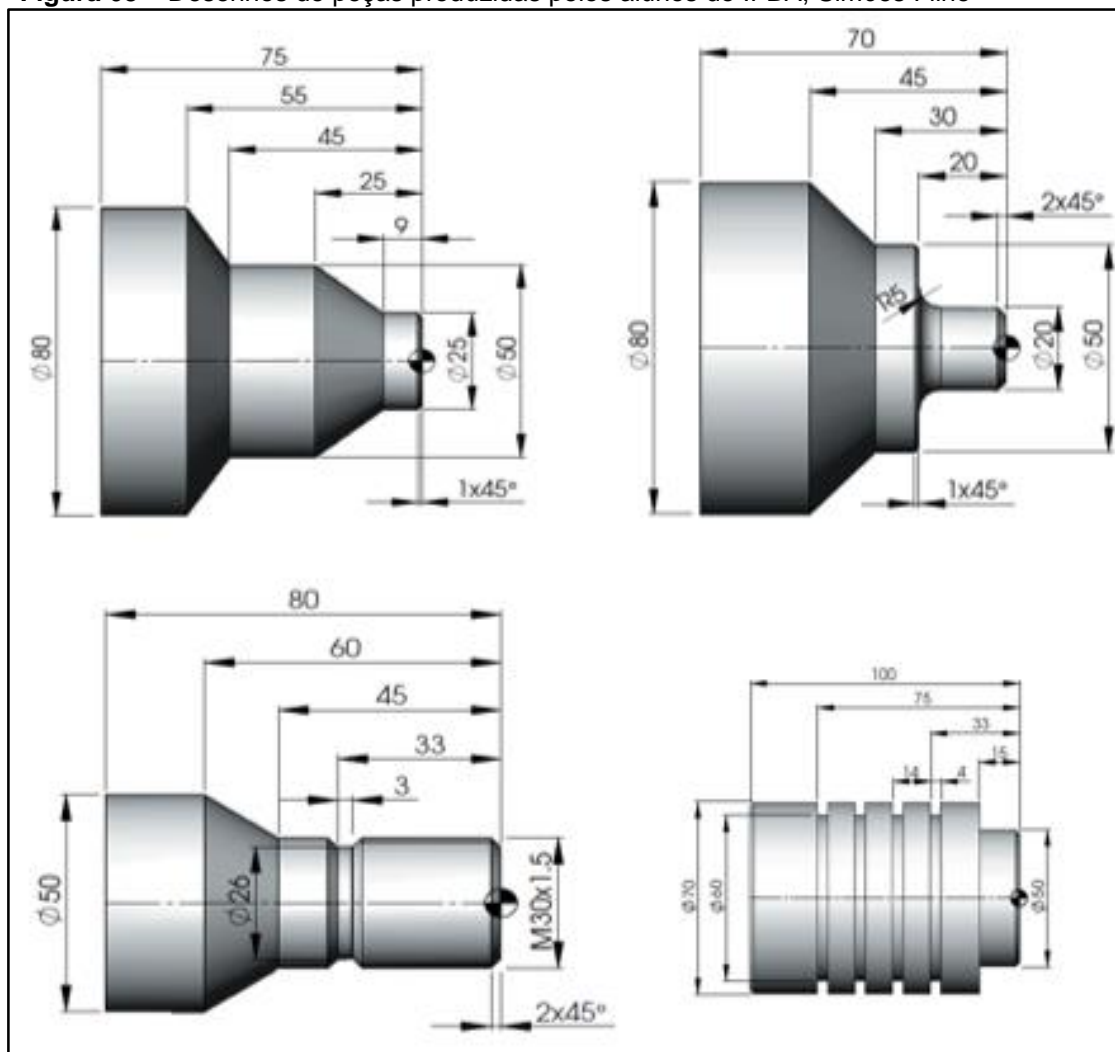
Figura 62 – Medidor Pré-usinagem



E a fabricação final se dá em um torno CNC fabricante Romi, modelo *Centur* 20 D, a seguir, alguns desenhos de peças produzidas pelos alunos do IFBA -

Campus Simões Filho, nos Laboratórios de Tecnologia Sociais e no Laboratório de Fabricação Mecânica (Figura 63).

Figura 63 – Desenhos de peças produzidas pelos alunos do IFBA, Simões Filho



Além da aplicação didática, uma das propostas deste trabalho é a utilização social do material com o intuito de agregar renda ao pequeno produtor rural do semi-árido baiano, gerando um impacto positivo na região. Após treinamento realizado na Associação Comunitária de Uruçu – Mairi /Ba, os participantes adotaram a nova tecnologia para fabricação de telhas, tijolos e peças decorativas, tais como: prateleiras, troféus, luminárias etc, agregando renda e valor a um resíduo que até então era descartado.

O processo de fabricação de telhas se dá através do processo de laminação manual, onde o resíduo do licuri é misturado com a resina que vai impregnar a

manta de fibra de vidro a ser moldada em uma telha de zinco convencional (Figura 64).

Figura 64 – Telha de zinco convencional



Por se tratar de um compósito reforçado com material renovável, atende aos apelos ecológicos e sustentáveis, podendo ser utilizado na fabricação de peças decorativas e estruturais que demandem baixo esforço mecânico, pois entre as suas características destaca-se o baixo peso, durabilidade, resistência à intempérie, boa resistência química e mecânica o que permite a sua utilização nos mais diversos segmentos do mercado.

No IFBA – SF, estamos substituindo gradativamente a utilização do aço carbono nas aulas de usinagem pelo compósito polimérico reforçado com EMLI, onde os próprios alunos fabricam os tarugos e usinam suas peças, podendo colocar em práticas o que aprenderam nas aulas de materiais, enriquecendo sobremaneira o aprendizado.

Houve um ganho considerável na redução de desgastes de ferramentas e consumo de energia elétrica, sobretudo na redução da aquisição de material ferroso para as aulas práticas das disciplinas Fabricação I e II, de acordo com as figuras 65 a 68 a seguir, podemos visualizar conjunto de engrenagens e polias, eixos, discos, tarugos etc.

Figura 65 – Tarugos de compósito de EMLI



Figura 66 – Conjunto de engrenagens



Figura 67 – Conjunto de polias



Figura 68 – Ponta de eixo



Como uma das propostas deste trabalho é a aplicação social do material com o intuito de agregar renda ao pequeno produtor rural do semi-árido baiano, então a comunidade de Uruçu – Mairi /Ba, já está utilizando esta tecnologia para fabricação de telhas, tijolos e peças decorativas como prateleiras, troféus, luminárias etc, assim agregando renda e valor a um resíduo que até então era descartado, gerando um impacto positivo na região.

Desta forma demos uma grande contribuição, levando o conhecimento e treinando os mais diversos membros das cooperativas e associações de trabalhadores rurais de como utilizar com segurança esta nova tecnologia que agregou renda a todos eles.

Na figura 69 (a, b, c e d) apresenta-se algumas peças desenvolvidas pelos moradores da comunidade de Uruçu – Mairi /Ba.

Figura 69 – Peças decorativas (*ecodesign*) e de utilidade



Na área acadêmica também houve uma inserção deste material na fabricação de chassis e peças para robô didático, por ser leve e possuir boa resistência a impactos assim como confecção de caixa para detecção de corrosão na área de biocombustíveis (Figuras 70 e 71).

Figura 70 – Plataforma de um robô didático



Figura 71 – Caixa para detecção de corrosão em biodiesel



5 CONCLUSÕES

- Foi demonstrada a viabilidade de obtenção do compósito proposto.
- O compósito apresentou propriedades térmicas e mecânicas que justificam sua aplicação em elementos que demandem baixas solicitações mecânicas, tais como: prateleiras, polias, engrenagens para fins didáticos, *ecodesign*, assentos sanitários, plataformas para robôs e elementos decorativos, pois, possuem excelente acabamento
- O resíduo fragmentado do exocarpo do licuri atuou como carga de enchimento, pois não houve aumento significativo nas propriedades mecânicas.
- A adição de resíduo do exocarpo do licuri moído reduz em até 20% em massa o uso da resina matriz, reduzindo assim o custo de fabricação.
- Todas as formulações mostrou-se com uma estabilidade térmica similar as apresentadas no mercado.
- Os compósitos apresentaram boa resistência ao impacto, ficando o de 40% com melhor desempenho.
- O compósito apresentou fratura frágil.
- A adição de resíduo não alterou o pico exotérmico.
- A temperatura de degradação para o compósito a 20% de EMLI foi a que apresentou o melhor resultado.
- O compósito demonstrou ser viável para isolamento térmico.
- O compósito mostrou-se viável para a fabricação de peça estrutural em substituição ao aço carbono em aulas práticas.

REFERÊNCIAS

ABMACO – Associação Brasileira de Materiais Compósitos. Disponível em: <<http://www.abmaco.org.br>>. Acesso em: 12 out. 2015.

ABREU, Luciana Barbosa *et al.* Avaliação de resíduos de painéis de madeira gerados por indústrias moveleiras para aproveitamento na confecção de pequenos objetos: Estudo de caso. **Ciência e Agrotécnica**, Lavras, v. 33, edição especial, p. 1747-1751, 2009. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/cagro/v33nspe/08.pdf>>. Acesso em: 05 ago 2016.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. ASTM D2583:2001. Standard test method for indentation hardness of rigid plastics by means of a barcol impressor. West Conshohocken: ASTM, 2001.

_____. ASTM D5420:1998. Standard test method for impact resistance of flat, rigid plastic specimen by means of a striker impacted by a falling weight (Gardner Impact), 1998.

_____. ASTM D570:95. Standard test method for water absorption of plastics. West Conshohocken: ASTM, 1995.

_____. ASTM D638:2010. Standard test method for tensile properties of plastics,. West Conshohocken: ASTM, 2010.

_____. ASTM D790:1990. Standard test methods: flexural properties of unreinforced and reinforced plastics and electrical insulating materials. West Conshohocken: ASTM, 1990.

_____. ASTM D790:98. Standard test method for flexural properties of unreinforced and reinforced plastics and electrical insulating. West Conshohocken: ASTM, 1998.

_____. ASTM D792-08: Standard test method for density and specific gravity (Relative Density) of plastics by displacement. West Conshohocken: ASTM, 2008.

ANTEQUERA, P.; JIMENES, L.; MIRAVETE, A. **Los materiales compuestos de fibra de vidro**. Zaragoza, Espana: Universidade de Zaragoza, 1991.

BACON, D. et al. Metal Matrix Composites: In the driving seat. [**Engineeing Materials Solutions.Materials Edge**, p.33 - 41, July/August -1989]. Disponível em: <<http://technology.open.ac.uk/materials/students/bacon/conference%20paper.pdf>>. Acesso em: 14 out. 2015.

BANCO de dados da Base de Pesquisa em Materiais Compósitos e Cerâmicos (BPMCC) do Departamento de Engenharia Mecânica. UFRN, 2009.

BARDAL, A., Høier, R. **Interfaces in Cast Al-SiC Composites**: Effects of Alloying Elements and Oxide Layers. 1990. p.205-210.

BLEDSKI, A. K.; GASSAN, J. Composites Reinforced with cellulose Based Fibers. **Porg. Polym. Sci.**, 24, 1999, p. 221-274.

BRASIL. Ministério da Educação. A Bahia descobre o licuri. **Cadernos temáticos**, Brasília, Secretaria de Educação Profissional e Tecnológica, n. 6, nov. 2005, p. 10-13.

BRASKEM. **Boletim técnico nº 08 PVC**. Adaptado e resumido de Agnelli, J. A. M. (2000). Verbetes em polímeros. Disponível em: <https://www.braskem.com.br/Portal/Principal/Arquivos/html/boletm_tecnico/Glossario_de_termos_aplicados_a_polimeros.pdf>. Acesso em: 11 jan. 2015.

BROWN, THEODORE L. et al. **Química: A Ciência Central**. 9.ed. Pearson, 2005.

BROWNING, B. L. **The Chemistry of Wood**. New York: Interscience, 1963.

CALLISTER, William D. **Fundamentos da ciência e engenharia de materiais: uma abordagem integrada**. 8. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2012.

CASARIL, Alexandre. **Análise micromecânica dos compósitos com fibra curta e partículas**. 2004. 54 f. Monografia. (Graduação em Engenharia Mecânica) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2004. Disponível em: <file:///C:/Users/Gabinete/Downloads/_arquivo_032-Alexandre_Casaril.pdf>. Acesso em: 04 out. 2016>.

CASTRO, A. J. de. **Resina poliéster: caracterização e estudo das condições de cura e propriedades mecânicas**. Relatório de estágio supervisionado. Florianópolis: UFSC, 2003.

CHIERIGHINI, D. et al. Possibilidades do uso das conchas de moluscos. In: INTERNATIONAL WORKSHOP ADVANCES IN CLEANER PRODUCTION, 3., 2011. São Paulo. **Anais...** São Paulo, 2011. Disponível em: <http://www.advancesincleanerproduction.net/third/files/sessoes/6A/6/Chierighini_D%20-%20Paper%20-%206A6.pdf>. Acesso em: 15 jan. 2016.

COELHO, Robson Rogério Pessoa; MATA, Mário Eduardo R. M. Cavalcanti; BRAGA, Maria Elita Duarte. Alterações dos componentes nutricionais do pseudocaule da bananeira quando processado visando sua transformação em palmito. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, Campina Grande – PB, v. 3, n. 1, p. 21-30, 2001.

COMPOSITE Fabrication Method. Disponível em: <<http://www.flexidynamic.com/method.htm>>. Acesso em: 01 nov. 2016.

D'ALMEIDA, J.R.M.; D' ALMEIDA, A.L.F.S.; CARVALHO, L.H. Mechanical, morphological and structural characteristics of caroa (*Neoglaziovia variegata*) fibers. 2007.

DRUMOND, Marcos Antônio. **Licuri *Syagrus coronata* (Mart.) Becc.** Documentos 199. Petrolina, PE: EMBRAPA Semi-árido, 2007. Disponível em: <<http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/152644/1/SDC199.pdf>>. Acesso em: 10 nov. 2016.

EARLE, R. L.; EARLE, M. D. **Unit operations in food processing.** 1983. Disponível em: <<http://www.nzifst.org.nz/unitoperations/>>. Acesso em 05 set. 2016

FELIPE, R. N. B. **Moldagem a vácuo de plástico reforçado:** Parâmetros de controle e propriedades dos moldados em PRFV. 1997. 107 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 1997.

FENGEL, D.; WEGENER, G. **Wood:** chemistry, ultra structure, reactions. Berlin: Walter de Gruyter, 1989.

FONSECA, V. M. **Estudo comparativo das propriedades mecânicas em compósitos poliéster/sisal quimicamente tratados.** 1998, 81 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) - Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Rio Grande do Norte-RN, 1998.

FONTOURA, C. M. DA. **Desenvolvimento de uma hélice de material compósito polimérico utilizando a moldagem por transferência de resina.** 2009. Dissertação (Mestrado em Engenharia) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul – Porto Alegre, 2009.

FRANZ, G; BLASCHECK, W. Celulose. In: **Methods in Plant Biochemistry.** Academic Press, 1990, v.2, p. 291-322.

FREDEI, M.C.; Alarcon, E.E.; Klein, A.N. Componentes de Al Sinterizado: tecnologia de fabricação e caracterização mecânico-microestrutural. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA E CIÊNCIA DOS MATERIAIS (CBECIMAT), 9., 1990, Águas de São Pedro-SP. **Anais...** Águas de São Pedro, 1990, v 1.

FUJIWARA, C. **Processing, Microstructure and Mechanical Properties Of Silicon Carbide Particulate Reinforced Aluminium Alloys.** 1986. Dissertação (Mestrado) - Massachusetts Institute of Technology (USA), 1986.

GARAY, André Cechin. **Efeito da adição de Carbonato de Cálcio em Compósitos Poliméricos Moldados por RTM e RTM Light.** 2010. Dissertação (Mestrado em Engenharia) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Escola de Engenharia. Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Minas, Metalúrgica e de Materiais, Porto Alegre, 2010. Disponível em: <<http://hdl.handle.net/10183/28834>>. Acesso em: 10 mar. 2016.

GARCIA, Amauri. **Ensaio dos materiais.** São Paulo: LTC, 2008.

GAUTHIER, R. et al. Interfaces in polyolefin/cellulosic fiber composites: chemical

coupling, morphology, correlation with adhesion and aging in moisture. **Polymer Composites**, v. 19, n. 3, p.287-300, 1998.

GEORGE, J.; SREEKALA, M. S.; THOMAS, S. A review on interface modification and characterization of natural fiber reinforced plastics composites. **Polymer Engineering and Science**. v. 41, n. 9, p. 1471-1485, 2001.

GIGLIO, Thalita Gorban Ferreira. **Avaliação do desempenho térmico de painéis de vedação em madeira para o clima de Londrina –PR**. 2005. 135 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Edificações e Saneamento) – Universidade Estadual de Londrina. Centro de Tecnologia e Urbanismo. Departamento de Construção Civil, Londrina, 2005. Disponível em: <<http://www.uel.br/pos/enged/dissertacoes/17.pdf>>. Acesso em: 4 out. 2016.

GOMES, Jailton Weber. **Obtenção e caracterização de um compósito de matriz polimérica e resíduos gerados pela manufatura do MDF (Medium Density Fiberboard)**. 2015. 157 f. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica) - Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2015.

GOMIDE, Reynaldo. **Operações unitárias**. v. 1. Operações com sistemas sólidos granulares. São Paulo, 1997.

GU, J.; WU, H. F.; KAMPE, S. L.; LU, G. Q. Volume fraction effects on interfacial adhesion strength of glass-fibers polymer composites. **Materials Science and Engineering**, v. 277A, p. 237-243, 2000.

HULL, D. **An Introduction to composite Materials**. Cambridge: Cambridge university Press, 1988.

HUNT JR., W.H. **A Perspective on the Development of Metal Matrix Composites**. Meeting of the Detroit Section of The Metallurgical Society, march. 1988.

IPT - INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS. **Celulose e Papel**. Tecnologia da Fabricação de Pasta Celulósica. V.1. 2 ed. São Paulo: IPT, 1988.

KELLY, A.; MILEIKO, S. T. **Fabrication of composites**. Mort Holland: Handbook of Composites, 1983. v. 4.

KESTEMNBACH, H.; BOTA FILHO, W. J. **Microscopia eletrônica de transição e varredura**. São Paulo. Associação Brasileira de Metais. 1994.

KREITH, F. e BOHN, M. S. **Princípios de transferência de calor**. São Paulo: Edward Blucher, 2003.

LEÃO, Mirtânia Antunes. **Fibras de licuri: um reforço vegetal alternativo de compósitos poliméricos**. 2009. 109 f. Dissertação (Mestrado em Tecnologia de Materiais; Projetos Mecânicos; Termociências) - Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2009. Disponível em:

<<https://repositorio.ufrn.br/jspui/handle/123456789/15549>>. Acesso em: 05 abr. 2016.

LEWIN, M.; GOLDENSTEIN, I. **Wood structure and composition**. Internacional fiber science and technology series. USA: Marcel Dekker, v. 11, 1991.

LIMA, Antônio Bastos Torres. **Aplicações de cargas minerais em polímeros**. 2007. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mineral) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, Brasil, 2007. Disponível em: doi:10.11606/D.3.2007.tde-27062007-185421. Acesso em: 02 mar. 2016.

LION FILHO, Carlos Alberto Pereira de Queiroz. **Desenvolvimento e caracterização de compósito a partir da borra da piaçava para construção da parábola de um fogão solar a concentração**. 2013. 197 f. Tese (Doutorado em Processamento de Materiais a partir do Pó; Polímeros e Compósitos) - Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2013. Disponível em: <<https://repositorio.ufrn.br/jspui/handle/123456789/12849>>. Acesso em: 05 abr. 2016.

MARINUCCI, Gerson. **Desenvolvimento, fabricação e análise de falha e fratura de cilindros de fibra de carbono colapsados por pressão interna**. 2001. 171 f. Tese (Doutorado em Ciências na Área de Tecnologia Nuclear – Materiais) - Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares, São Paulo, 2001. Disponível em: <http://pelicano.ipen.br/PosG30/TextoCompleto/Gerson%20Marinucci_D.pdf>. Acesso em: 13 jan. 2015.

MATTHEWS, F. L, RAWLINGS, R. D. **Composite Materials**: Engineering And Science. Chapman and Hall, UK, 1994.

MENDES, T. M. F. F. **Propriedades de Resistência à Tração e ao Impacto de Compósitos Poliéster Sisal**: um estudo comparativo. 1992. 123 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica), Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Natal, RN, Brasil, 1992.

MORI Rafael. C.; SÃO JULIÃO, A.; FROLLINI, Elisabete. Compósitos de matriz temorrígida fenólica reforçada com fibras de sisal: resistência ao impacto e avaliação de interações fibra/matriz. In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE QUÍMICA, 29., 2006, Águas de Lindóia – SP. **Anais...**, Águas de Lindóia – SP, 2006.

MORRISON, R.; BOYD, R. **Química Orgânica**. 7 ed. Lisboa: Fundação Kaloustre Gubekian, 1981.

MOURA, Washington A.; GONÇALVES, Jardel P.; LEITE, Rôneison da Silva. Utilização do resíduo de corte de mármore e granito em argamassas de revestimento e confecção de lajotas para piso. **Sitientibus**, Feira de Santana, n. 26, p.49-61, jan./jun. 2002. Disponível em:

<http://www2.uefs.br/sitientibus/pdf/26/utilizacao_do_residuo_de_corte_de_marmore.pdf>. Acesso em: 10 jan. 2015.

MOTA, Rúi Carlos de Sousa. **Análise de viabilidade técnica de utilização da fibra de bananeira com resina sintética em compósitos**. 2010. 108 f. Dissertação (Mestrado em Tecnologia de Materiais; Projetos Mecânicos; Termociências) - Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2010. Disponível em: <<https://repositorio.ufrn.br/jspui/handle/123456789/15617>>. Acesso em: 03 abr. 2016.

NARAYAN, R. Polymeric Materials from Agricultural Feedstocks. **Polymers from Agricultural Coproducts**. Ed. Fishman, Friedman, Huang, American Chemical Society, Washington, 1994.

OLIVEIRA, Jorge Fernando de Sousa. **Estudos da influência da configuração em compósitos poliméricos híbridos**. 2007. 118 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica). Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal. Orientadores: Profª Dra. Eve Maria Freire de Aquino; Prof. Dr. Raimundo Carlos Silvério Freire Júnior. Disponível em: <<https://repositorio.ufrn.br/jspui/bitstream/123456789/15562/1/FernandoBMS.pdf>>. Acesso em: 03 abr. 2016.

OLIVEIRA, M. H. **Principais matérias-primas utilizadas na indústria têxtil**. BNDES Setorial, Rio de Janeiro, n. 5, p. 71-109, mar.1997.

OLIVEIRA NETO, Manoel Leonel de. **Estudo do aproveitamento de resíduo de gesso como carga para compósito de resina expansiva de mamona**. 2012. 109 f. Tese (Doutorado) - Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Nata, RN, Brasil, 2012. Disponível em: <<https://repositorio.ufrn.br/jspui/handle/123456789/15586>>. Acesso em: 03 abr. 2016.

PAIVA, J. M. F.; FROLLINI, E. Matriz termofixa fenólica em compósitos reforçados com fibras de bagaço de cana-de-açúcar. **Polímeros: Ciência e Tecnologia**. p. 78-87, abr/jun. 1999a.

PAIVA, J. M. F.; TRINDADE, W. G.; FROLLINI, E. Compósitos de matriz termofixa fenólica reforçada com fibras vegetais. **Polímeros: Ciência e Tecnologia**. p. 170-176, out./dez. 1999b.

RABIEJ, S. A comparison of two X-ray diffraction procedures for crystallinity determination. **European Polymer Journal**, v. 27, n. 9, p. 947-954, dez. 1991. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/222361384_A_comparison_of_two_X-ray_diffraction_procedures_for_crystallinity_determination>. Acesso em: 02 mar. 2015.

RANA, A. K. et al. Short jute fiber-reinforced polypropylene composites: effect of compatibilizer. **Journal of Applied Polymer Science**, v. 6, n. 2, p. 329-338, 2009.

RAZERA, I. A. T. **Fibras lignocelulósicas como agente de reforço de compósitos de matriz fenólica e lignofenólica**. 2006. 189 f. Tese. (Doutorado em Ciências) - Universidade de São Carlos, São Carlos, 2006. Disponível em: <file:///C:/Users/Ju%20Santos/Downloads/IlceAikoTanakaRazera.pdf>. Acesso em: 03 jan. 2015.

RODRIGUES, L. P. S. **Efeitos do envelhecimento ambiental acelerados em compósitos poliméricos**. 2007. Dissertação – Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal 2007.

ROSA, D.S.; PENTEADO D. S.; CALIL, M. R. **Process to Improve Thermal Propertires of Natural Fiber Composites**. n. 2350112, 2002.

RONG, M. Z.; ZHANG, M. Q.; LIU, Y.; YANG, G. C.; ZENG, H.M. **The effect of fiber treatment on the mechanical properties of unidirectional sisal-reinforced epoxy composites**. **Composites Science and Technology**, v.61, n.10, p. 1437-1447, 2001.

ROWELL, R. M.; HAN, J. S.; ROWELL, J. S. Characterization and Factors Effecting Fiber Properties. In. **Natural Polymrs and Agrofibers Cposites**. Edited by. Frolini et al. São Carlos: EMBRAPA, 2000, p. 115-133.

SANTOS, Alexandre Maneira dos. **Estudo de compósitos híbridos polipropileno / fibras de vidro e coco para aplicações em Engenharia**. 2006. 76 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica). Universidade Federal do Paraná, Curitiba. Programa de PósGraduação em Engenharia Mecânica, Setor de Tecnologia. Orientadora: Profª Dra. Thais Helena Sydenstricker. Co-orientador: Profº Dr. Sandro C. Amico. Disponível em: <http://www.pgmecc.ufpr.br/dissertacoes/dissertacao_078_alexandresantos.pdf>. Acesso em: 03 abr. 2016.

SHACKELFORD, James F. **Ciência dos materiais**. 6. ed. São Paulo: Pearson, 2008.

SILAEX QUÍMICA. **Poliéster instaurado**. Disponível em: <<http://www.silaex.com.br/poli%C3%A9ster.htm>>. Acesso em 12 set. 2015.

SILVA, C.; DANTAS, C.; FELIPE, R. Levantamento da utilização dos materiais compósitos reforçados com fibras naturais. In: CONNEPI, 4., 2009, Belém, PA. **Anais...** Belém, 2009.

UNGARI, Mariana Batista. **Estudo da influência do grau de cristalinidade nas propriedades mecânicas do Polietileno Teraftalato processado a baixas taxas de resfriamento**. 1999. 96 f. Dissertação (Mestrado) – UFPR, Curitiba, 1999. Disponível em: <<http://www.pipe.ufpr.br/portal/defesas/dissertacao/002.pdf>>. Acesso: 12 out. 2015.

ANEXO A
GLOSSÁRIO DE TERMOS APLICADOS A POLÍMEROS

GLOSSÁRIO DE TERMOS APLICADOS A POLÍMEROS

Adaptado e resumido de Agnelli, J. A. M. (2000). Verbetes em polímeros.

ABS: sigla padronizada pela IUPAC (International Union of Pure and Applied Chemistry) para representar o plástico principalmente baseado em terpolímeros de acrilonitrila-butadieno-estireno; comercialmente são encontrados dois tipos de ABS: o terpolímero ABS (“ABS de mistura química”), normalmente obtido pela graftização da acrilonitrila e do estireno sobre o polibutadieno, e um ABS baseado na mistura física ou mecânica de dois copolímeros, com composição química que reproduza os teores de acrilonitrila, butadieno e estireno, normais nos plásticos ABS; estruturalmente, o polímero ABS é um termoplástico, aplicado em peças técnicas; ver termoplásticos e terpolímero.

Acabamento (em plásticos): inclui vários processos e técnicas para modificação das superfícies de plásticos, incluindo principalmente: pintura, metalização e gravações (ou impressões).

Acrílico: nome comum do poli (metacrilato de metila), que é um termoplástico duro, vítreo e de alta transparência; ver termoplásticos.

Adesivo: uma substância capaz de manter materiais juntos por união superficial, isto é, por adesão superficial, sendo a adesão a atração entre dois corpos sólidos ou plásticos, com superfícies de contato comuns, e produzida pela existência de forças atrativas intermoleculares de ação a curta distância; a seleção do adesivo deve ser baseada nos tipos de materiais que vão ser colados.

Aditivos (em polímeros): são materiais adicionados como componentes auxiliares dos plásticos e/ou das borrachas; a inclusão de aditivos nas formulações ou composições de plásticos ou de borrachas visa uma ou mais aplicações específicas como, por exemplo, abaixar o custo, modificar e/ou melhorar diversas propriedades, facilitar o processamento, colorir, etc.; os principais aditivos dos plásticos e das borrachas são: fibras de reforço ou reforços fibrosos, cargas inertes, cargas reforçantes ou reforçadoras, plastificantes, lubrificantes, pigmentos, corantes, plastificantes, estabilizantes térmicos, antioxidantes, antiozonantes, absorvedores de ultravioleta, retardantes de chama, agentes de expansão, agentes antiestáticos, aromatizantes, aditivos anti-fungos, modificadores de impacto, etc.

Biopolímeros: polímeros biologicamente ativos; este termo não deve ser utilizado para os polímeros que têm aplicação na área biomédica.

Blenda polimérica: terminologia adotada, na literatura técnica sobre polímeros, para representar as misturas físicas ou misturas mecânicas de dois ou mais polímeros, de forma que entre as cadeias moleculares dos polímeros diferentes só exista interação intermolecular secundária ou que não haja um elevado grau de reação química entre as cadeias moleculares dos polímeros diferentes; muitas blendas poliméricas são utilizadas como plásticos de engenharia, com aplicações principalmente nas indústrias automobilística e eletro-eletrônica.

Borracha: é o mesmo que elastômero, podendo ser natural ou sintética; as borrachas

GLOSSÁRIO DE TERMOS APLICADOS A POLÍMEROS

tradicionais são materiais poliméricos que exibem, após a vulcanização, elasticidade em longas faixas de deformação, à temperatura ambiente; as borrachas comuns são: borracha natural, copolímero butadieno-estireno (borracha SBR), polibutadieno, borracha butílica, borracha de etileno-propileno (EPR), borracha de etileno-propileno-monômero diênico (EPDM), borracha nitrílica (copolímero butadieno-acrilonitrila) e o policloropreno; as borrachas especiais são: elastômeros fluorados, elastômeros de silicone, elastômeros de poliuretanos, elastômeros de polietileno clorossulfonados, elastômeros de polissulfetos (ou borrachas polissulfídicas) e elastômeros termoplásticos; borracha crua: borracha não vulcanizada, sem qualquer aditivo, sendo um termoplástico nesta fase; vulcanização de borrachas: é o processo químico de maior importância para as borrachas tradicionais, introduzindo a elasticidade, melhorando a resistência mecânica e reduzindo a sua sensibilidade às variações de temperatura. O principal agente de vulcanização é o enxofre; borracha vulcanizada: borracha após a vulcanização, possuindo cadeias poliméricas com poucas ligações cruzadas (ligações químicas primárias), interconectando cadeias poliméricas diferentes. Só após a vulcanização é que as borrachas tradicionais têm aplicação prática; borracha regenerada: borracha que pode ser reaproveitada através de tratamento químico. A regeneração nem sempre é possível e algumas vezes não é um processo economicamente viável. A borracha regenerada pode ser utilizada uma segunda vez, como carga em composições de borrachas cruas; borrachas pretas: são composições de borracha contendo o negro de fumo como carga reforçante, que melhora muito a resistência à abrasão das borrachas; ver elastômero.

Borracha natural: polímero natural obtido pela coagulação do látex da “Hevea Brasiliensis”, a borracha natural é quimicamente constituída pelo poli-cis-isopreno; ver borracha e látex.

Borracha nitrílica: borracha sintética constituída pelo copolímero butadieno-acrilonitrila, com teor de acrilonitrila variando normalmente entre 20 e 45%; a borracha nitrílica com alto teor de acrilonitrila tem excelente resistência à gasolina e a outros fluídos apolares; ver borracha.

Chapa (termo técnico, em plásticos): chapa (ou placa) é a forma de moldagem de um plástico na qual a espessura é muito pequena em comparação com o comprimento e com a largura do moldado; ver filme (termo técnico, em plásticos).

Compósito (polimérico): material conjugado formado por pelo menos duas fases ou dois componentes, sendo geralmente uma fase polimérica (matriz polimérica) e uma outra fase de reforço, normalmente na forma de fibras. Para a formação do material compósito ou do material conjugado é necessário haver uma interação química e/ou física entre a matriz polimérica e o reforço fibroso, proporcionando a transferência de esforços mecânicos da matriz polimérica para os reforços fibrosos; em compósitos com plásticos, os principais reforços fibrosos são: fibras de vidro, fibra de carbono e fibras aramídicas tipo Kevlar, da Du Pont; diferente de composto.

Composto (em plásticos e/ou em borrachas): qualquer composição ou mistura de um plástico ou de uma borracha, com aditivos, estando estes em proporção expressiva (conceito apresentado de forma rigorosa); diferente de compósito.

GLOSSÁRIO DE TERMOS APLICADOS A POLÍMEROS

Copolímero: denominação geral para o polímero em que cada uma das muitas cadeias poliméricas é formada por dois ou mais tipos de meros; de acordo com a distribuição dos meros nas cadeias poliméricas, os copolímeros podem ser: estatísticos, alternados, em bloco e graftizados (ou enxertados); além da distribuição dos meros é importante a composição do copolímero, dada pelas porcentagens dos comonômeros; ver terpolímero.

Cristalinidade (em polímeros): a cristalinidade em polímeros pode ser definida como um arranjo ordenado tridimensional das estruturas macromoleculares dos polímeros; os polímeros, dependendo de vários fatores, podem apresentar estruturas com algum grau de cristalinidade, mas na prática 100% de cristalinidade não é atingida; em polímeros, as regiões cristalinas são denominadas cristallitos; alguns polímeros cristalinos podem apresentar uma microestrutura com esferulitos, que são arranjos esféricos, birrefringentes, de cristais interligados com regiões amorfas, e que apresentam a forma de uma cruz de Malta quando observados em microscópios ópticos com luz transmitida e polarizada. Os esferulitos aparecem em função das condições de cristalização, que têm grande influência nas propriedades dos polímeros cristalinos; ver polímero.

Degradação (em polímeros): reações químicas destrutivas dos plásticos ou das borrachas, que podem ser causadas por agentes físicos (radiação solar, temperatura, atrito mecânico intenso, etc.) e/ou por agentes químicos; a degradação é qualquer fenômeno que provoque alterações estruturais em um polímero, causando uma modificação irreversível nas suas propriedades físico-mecânicas, evidenciada pela variação indesejável dessas propriedades; as reações de degradação são minimizadas pela seleção adequada do plástico ou da borracha e pelo uso correto de aditivos estabilizantes na formulação do material; ver aditivos (em polímeros).

Elastômeros: polímeros que, na temperatura ambiente, podem ser estirados repetidamente a pelo menos duas vezes o seu comprimento original e que, após a retirada do esforço mecânico causador do estiramento, devem voltar rapidamente ao seu comprimento inicial; ver borracha.

Elastômeros termoplásticos: tipos de polímeros que apresentam comportamento elastomérico, embora sejam estruturalmente polímeros termoplásticos. Os copolímeros em bloco do tipo SBS (estireno-butadieno-estireno) formam os principais elastômeros termoplásticos (ou borrachas termoplásticas).

Ensaio (técnico): conjunto de procedimentos normalizados para a obtenção de uma propriedade e/ou de um parâmetro do material ensaiado; o uso de ensaios padronizados é importante para garantir a comparação de valores obtidos em diferentes locais e/ou equipamentos de ensaios; no Brasil, é a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) quem cuida da normalização dos ensaios de materiais e das especificações técnicas dos materiais; os ensaios de materiais geralmente são divididos em ensaios físicos, mecânicos, elétricos, térmicos e outros.

Fibras (em polímeros): são materiais definidos pela condição geométrica de alta relação entre o comprimento e o diâmetro da fibra; em polímeros, muitas vezes considera-se que o quociente

GLOSSÁRIO DE TERMOS APLICADOS A POLÍMEROS

comprimento da fibra/diâmetro da fibra, denominado razão de aspecto, deve ser igual ou maior que cem; as fibras poliméricas, isto é, os polímeros empregados na forma de fibras, são termoplásticos orientados no sentido do eixo da fibra (orientação longitudinal); principais fibras poliméricas: náilons, poliésteres lineares saturados (principalmente o poli (tereftalato de etileno)), poliacrilonitrila e fibras poliolefínicas (principalmente o polipropileno); ver termoplásticos.

Fibras de reforço (em polímeros): são materiais fibrosos que quando adequadamente incorporados aos polímeros aumentam muito a sua resistência mecânica, tendo também influência em outras propriedades. A incorporação das fibras de reforço em polímeros pode ser precedida de um tratamento prévio das fibras para a compatibilização do compósito que vai ser produzido, pois, muitas vezes as fibras de reforço são inorgânicas e o polímero é, freqüentemente, orgânico; para ter grande influência no reforçamento de polímeros, as fibras precisam ser incorporadas em misturadores adequados e o processamento do compósito ou material conjugado deve ser feito corretamente, para evitar drásticas reduções nos comprimentos das fibras. A eficiência do reforçamento depende da razão do aspecto das fibras, que é o quociente comprimento da fibra/diâmetro da fibra; as principais fibras de reforço empregadas em polímero são: fibras de vidro, fibras de carbono e fibras aramídicas, Kevlar (da Du Pont); ver compósito.

Filme (termo técnico, em plásticos): termo opcional para chapas ou placas de plásticos com espessura não superior a 0,254 mm ou um centésimo de polegada; ver chapa (termo técnico, em plásticos).

Fluência (em polímeros, em inglês “creep”): propriedade e/ou ensaio de longa duração (para tempos elevados), em que um material polimérico submetido a um esforço mecânico constante (tensão constante) sofre deformações em função do tempo; a fluência é avaliada pela medida da deformação, em função do tempo, da temperatura e do nível de tensão.

Grau de polimerização (em polímeros): número de segmentos repetitivos ou meros que formam uma cadeia molecular polimérica; o grau de polimerização deve ser tratado em termos de valores médios para uma amostra polimérica; o grau de polimerização médio de polímeros comerciais é superior a 100, sendo muitas vezes superior a 500; ver peso molecular (em polímeros).

Homopolímero: polímero constituído de cadeias poliméricas contendo um único tipo de mero; ver polímero.

Látex (plural: látices): emulsão de um polímero em um meio líquido, normalmente água. Neste caso, temos emulsões aquosas; as emulsões podem ser aplicadas diretamente ou podem ser coaguladas, sendo o polímero extraído dos látices.

Macromoléculas: grandes moléculas, mas não necessariamente polímeros. As macromoléculas não precisam ser internamente constituídas por unidades de repetição. Assim, os polímeros são formados por macromoléculas, mas as macromoléculas nem sempre são

GLOSSÁRIO DE TERMOS APLICADOS A POLÍMEROS

polímeros. São macromoléculas, sem ser polímeros, as proteínas (α -aminoácidos) e os ácidos nucleicos como o DNA – ácido desoxirribonucleico e o RNA – ácido ribonucleico; ver polímero.

Mero: unidade de repetição do polímero, ou seja, é a unidade estrutural que se repete na cadeia macromolecular do polímero; a nomenclatura monômero e mero é muito empregada para os polímeros de adição, nas polimerizações em cadeia; ver monômero.

Monômero: molécula simples que dá origem à unidade de repetição (mero) de um polímero. O monômero tem que ser pelo menos bifuncional, pois deve ter a capacidade de reagir em pelo menos dois pontos, dando origem a cada uma das cadeias macromoleculares do polímero; diferente de mero; ver mero.

Oligômero: material com peso molecular intermediário entre os materiais de baixo peso molecular e os polímeros; oligômeros = poucos meros; o termo oligômero é algumas vezes utilizado como sinônimo de pré-polímero; os oligômeros possuem normalmente grau de polimerização entre 5 e 100; ver grau de polimerização, peso molecular e polímero.

pcr ou phr: siglas de “partes por cem partes de resina” ou “*parts per hundred of resin*”. Significam a quantidade em massa de aditivo incorporada na formulação do composto de PVC, em relação a 100 unidades de massa da resina.

Peso molecular (em polímeros; termo recomendado: massa molar): o peso molecular de um polímero deve ser tratado em termos de valores médios, isto é, tratado através de um cálculo estatístico, numérico ou ponderal, dos pesos moleculares de todas as cadeias macromoleculares que formam uma massa polimérica ou um material polimérico; o peso molecular (numérico ou ponderal ou viscosimétrico) médio é o produto do grau de polimerização médio correspondente (numérico ou ponderal ou viscosimétrico) pelo peso molecular do mero (unidade de repetição) do polímero. A justificativa para haver uma dispersão de pesos moleculares é que nas reações de polimerização, que controlam os pesos moleculares, são formadas muitas moléculas poliméricas com pesos moleculares diferentes: algumas moléculas crescem mais e outras crescem menos. Tal fato, gera uma distribuição de pesos moleculares da amostra polimérica. Mede-se então o peso molecular médio da amostra polimérica e não o peso molecular de cada molécula polimérica; principais técnicas empregadas para determinar os pesos moleculares médios dos polímeros: Cromatografia de Permeação em Gel (GPC), Viscosidade de Soluções Diluídas, Osmometria de Membrana, Osmometria de Pressão de Vapor e Espalhamento de Luz; os polímeros de interesse comercial geralmente têm pesos moleculares superiores a 10.000g/mol ou daltons; ver grau de polimerização e polimerização.

Placa (termo técnico, em plásticos): ver chapa (termo técnico, em plásticos) e filme (termo técnico, em plásticos).

Plástico: é um material cujo constituinte fundamental é um polímero, principalmente orgânico e sintético, sólido em sua condição final (como produto acabado) e que em alguma fase de sua produção foi transformado em fluído, adequado à moldagem por ação de calor e/ou pressão. O

GLOSSÁRIO DE TERMOS APLICADOS A POLÍMEROS

plástico, além do(s) polímero(s) de base, pode conter vários tipos de aditivos; em relação aos processos tecnológicos os plásticos são divididos em termoplásticos e termofixos (ou termorrígidos); em função da qualidade da aplicação em que são empregados, os plásticos podem ser separados em plásticos convencionais, especiais e de engenharia; os plásticos de engenharia podem ser reforçados com fibras de vidro ou com outros reforços fibrosos; em função de sua natureza química e/ou de seus aditivos, os plásticos podem ser rígidos, semi-flexíveis ou semi-rígidos, e flexíveis; os plásticos podem ser ligeiramente expandidos formando os plásticos expandidos estruturais ou podem se transformar, por grande expansão, em plásticos expansíveis ou espumas – plásticos fabricados na forma celular por processos térmicos e/ou químicos e/ou mecânicos, e que possuem densidade entre 0,03 a 0,3 g/cm³ (exemplo: isopor, nome comercial da espuma de poliestireno); ver aditivos, polímero, termoplásticos e termofixos.

Polimerização: é a síntese de um polímero; a polimerização é o conjunto das reações que provocam a união de pequenas moléculas, por ligação covalente, para a formação das muitas cadeias macromoleculares que compõem um material polimérico; a polimerização consiste em reagir um ou mais monômeros para a obtenção de polímeros; em relação ao número de meros das cadeias poliméricas do polímero sintético, as polimerizações podem ser: homopolimerização, que é a polimerização onde as cadeias poliméricas do polímero sintetizado são constituídas por um único tipo de mero e, copolimerização, que é o termo geral para a polimerização onde as cadeias poliméricas do copolímero sintetizado são constituídas por dois ou mais tipos de meros; quanto ao método de preparação as polimerizações se dividem em poliadição e policondensação. As poliadições são polimerizações não acompanhadas da formação de subprodutos, e que, quando convencionais, são polimerizações com mecanismos de reações em cadeia, subdivididas em: polimerizações em cadeia via radicais livres, polimerizações em cadeia iônicas (catiônicas, aniônicas comuns e aniônicas via polímeros vivos) e as polimerizações em cadeia estereoespecíficas por complexos de coordenação, onde se destacam as polimerizações em cadeia tipo Ziegler-Natta. Os principais polímeros de adição (obtidos em polimerizações em cadeia) são: polietilenos, polipropileno, poliestireno, poli (cloreto de vinila), poli (metacrilato de metila), etc. As policondensações convencionais são polimerizações acompanhadas da formação de subprodutos, com mecanismos de reações em etapas. Os principais polímeros de condensação (obtidos em policondensações convencionais) são: náilons, poliésteres, resinas fenólicas, resina melamina-formaldeído, resina uréia-formaldeído, etc; em relação ao meio físico em que são realizadas, as polimerizações podem ser separadas em polimerização em massa, em solução, em suspensão e em emulsão; ver polímero.

Polímero: material orgânico ou inorgânico, natural ou sintético, de alto peso molecular, formados por muitas macromoléculas, sendo que cada uma destas macromoléculas deve possuir uma estrutura interna onde há a repetição de pequenas unidades chamadas meros (unidades de repetição); o termo polímeros vem de: poli = muitas e meros = partes, unidades de repetição; o termo polímero é massivo, sendo utilizado para designar o material cuja composição é baseada em um conjunto de cadeias poliméricas, e cada uma das muitas cadeias poliméricas que formam o polímero é uma macromolécula formada por união de

GLOSSÁRIO DE TERMOS APLICADOS A POLÍMEROS

moléculas simples ligadas por covalência; os polímeros de interesse comercial geralmente têm pesos moleculares médios superiores a 10.000g/mol, sendo que para os polímeros com muito alto peso molecular (acima de 100.000g/mol) algumas vezes adota-se a designação alto polímero; em relação ao tipo de cadeia polimérica, pode-se ter polímeros de cadeia carbônica, onde só existem átomos de carbono na cadeia molecular principal ou eixo ou espinha dorsal do polímero, e polímeros de cadeia heterogênea (ou heteropolímeros), onde a cadeia molecular principal do polímero contém átomos diferentes de carbono, que também pode estar na cadeia principal do polímero; polímeros naturais orgânicos: borracha natural, madeira, algodão, etc.; polímeros naturais inorgânicos: diamante, grafite, vidro, etc.; polímeros artificiais, que são polímeros orgânicos naturais modificados: acetato de celulose, nitrato de celulose, acetato-butirato de celulose, carboximetil celulose, etc.; polímeros sintéticos orgânicos: polietilenos, polipropileno, PVC, poliestireno, náilons, poliésteres, etc.; polímeros sintéticos inorgânicos: ácido polifosfórico, poli (cloreto de fosfonitrila), etc.; não sendo acrescentada nenhuma característica ao polímero, normalmente admite-se que o polímero seja orgânico e sintético; os polímeros, quanto ao arranjo espacial tridimensional das cadeias poliméricas podem ser: amorfos (com arranjo desordenado das moléculas poliméricas) ou parcialmente cristalinos (arranjos onde existem regiões ordenadas, sendo que a fração dessas regiões ordenadas, em relação ao material todo, caracteriza o grau de cristalinidade do polímero); os polímeros, como matérias-primas na forma de pós, grânulos, dispersões ou fardos (borrachas), são transformados e utilizados em produtos finais como plásticos, borrachas, fibras, espumas, revestimentos, tintas e adesivos; os polímeros, em função do seu consumo e da qualidade de suas aplicações, podem ser: convencionais (ou de grande consumo) e não convencionais, onde se enquadram os polímeros de engenharia, os polímeros reforçados, os polímeros para uso em altas temperaturas, os polímeros condutores, os cristais líquidos poliméricos ou polímeros líquidos cristalinos, os polímeros barreira e outros polímeros especiais; ver borracha, peso molecular e plástico.

ppm: partes por milhão, para representar uma concentração muito baixa de um componente ou impureza em função da concentração do componente principal de uma formulação ou de um material.

Processamento (de polímeros): o mesmo que moldagem; processamento é a transformação de um polímero, como matéria-prima, em um produto final; a escolha do tipo de processo de transformação de um polímero em um produto polimérico é feita com base nas características intrínsecas do polímero, na geometria do produto a ser moldado e na quantidade do produto que será produzida; o processamento de um polímero pode ser feito por várias técnicas, sendo as principais citadas a seguir: moldagem por injeção, extrusão (incluindo as técnicas de coextrusão), moldagem por sopro (extrusão-sopro e injeção-sopro), moldagem por compressão, calandragem, termoformagem à vácuo, moldagem rotacional (ou rotomoldagem).

Reologia: é a ciência que estuda as deformações e o escoamento dos materiais; a reologia, que é particularmente importante para o estudo dos polímeros, abrange principalmente o estudo da elasticidade, da plasticidade, da viscosidade e do escoamento dos materiais em geral.

GLOSSÁRIO DE TERMOS APLICADOS A POLÍMEROS

Resina: termo atualmente empregado para representar qualquer matéria-prima polimérica no estado termoplástico, sendo fusíveis, insolúveis em água, mas solúveis em outros meios líquidos. Assim, são resinas: um próprio termoplástico ou uma resina, antes da cura, e que vai se transformar em um termofixo, após a cura; para os polímeros sintéticos pode-se empregar o termo resina sintética.

Síntese (em polímeros): obtenção de compostos de alto peso molecular (polímeros) a partir de compostos de baixo peso molecular (monômeros), através das reações de polimerização; ver polimerização.

Termofixos: são materiais plásticos que quando curados, com ou sem aquecimento, não podem ser reamolecidos por um próximo aquecimento; as matérias-primas para os termofixos são resinas oligoméricas, ainda termoplástica, que na moldagem em produtos, são curadas e transformadas em termofixos, insolúveis; estruturalmente, os termofixos têm como componentes fundamentais polímeros com cadeias moleculares contendo muitas ligações químicas primárias entre as cadeias diferentes – ligações cruzadas – que geram o comportamento dos termofixos, que podem também ser chamados polímeros reticulados ou polímeros com muitas ligações cruzadas; os termofixos, quando for necessário, podem conter aditivos e podem ter aplicações como plásticos de engenharia, como é o caso dos poliésteres insaturados reforçados com fibras de vidro; exemplos de matérias-primas para os plásticos termofixos: resina fenólica, resina uréia-formaldeído, resina melamina-formaldeído, resina epóxi e resina de poliéster insaturado; podem ser empregados como sinônimos de termofixos, os termos termorrígidos e termoendurecíveis; ver cura, oligômero, plástico, polímero e resina.

Termoplásticos: são polímeros capazes de ser repetidamente amolecidos pelo aumento da temperatura e endurecidos pela diminuição da temperatura. Esta alteração reversível é física e não química, mas pode provocar alguma degradação no termoplástico, para um número elevado de ciclos de aquecimento e de resfriamento; estruturalmente, os componentes fundamentais dos termoplásticos são polímeros com cadeias lineares ou ramificadas, sem ligações cruzadas, isto é, entre as cadeias poliméricas diferentes só existem interações intermoleculares secundárias, reversíveis com a temperatura; os termoplásticos podem ser: convencionais (ou de grande uso), especiais ou de engenharia; os termoplásticos convencionais (ou de grande uso) são: polietileno de baixa densidade, polietileno de alta densidade, polipropileno, poli (cloreto de vinila) e o poliestireno; entre os termoplásticos especiais se destacam o poli (metacrilato de metila) e o poli (tetraflúor-etileno); os principais termoplásticos de engenharia são: náilons, policarbonatos, poliacetais, poliésteres termoplásticos, ABS (graus de engenharia), poli (óxido de fenileno) modificado com poliestireno, polissulfonas, poli (sulfeto de fenileno) e poli (éter-éter-cetona); os termoplásticos, quando for necessário, podem conter aditivos; ver plásticos e polímero.

Termorrígidos: o mesmo que termofixos; ver termofixos.

Terpolímero: caso particular de copolímero formado por três meros diferentes; o ABS (acrilonitrila-butadieno-estireno) é o principal exemplo de terpolímeros; ver copolímero e polimerização.

GLOSSÁRIO DE TERMOS APLICADOS A POLÍMEROS

Tintas: é basicamente a mistura estável de uma parte sólida (que forma a película aderente à superfície a ser pintada) em um componente volátil (solvente(s) orgânico(s) ou água). A parte sólida é composta por: pigmentos, cargas, outros aditivos e o(s) veículo(s) sólido(s). As resinas poliméricas mais utilizadas como veículos sólidos são as resinas alquídicas, resina epóxi, resinas acrílicas, poliuretanos e o poli (acetato de vinila) e seus derivados; ver resina.